

**Die rechnergestützte Simulationsmethode
in den Sozialwissenschaften:
Theoretischer Hintergrund und Entwicklung von
PC-Bausteinen simulierter Elementarprozesse**

INAUGURALDISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades
eines Doktors der Sozialwissenschaft der
Ruhr-Universität Bochum
– Fakultät für Sozialwissenschaft –

vorgelegt von

BRIGITTE WUTSCHEL
aus Witten

Bochum 1988

**Die rechnergestützte Simulationsmethode
in den Sozialwissenschaften:
Theoretischer Hintergrund und Entwicklung von
PC-Bausteinen simulierter Elementarprozesse**

INAUGURALDISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades
eines Doktors der Sozialwissenschaft der
Ruhr-Universität Bochum
– Fakultät für Sozialwissenschaft –

vorgelegt von

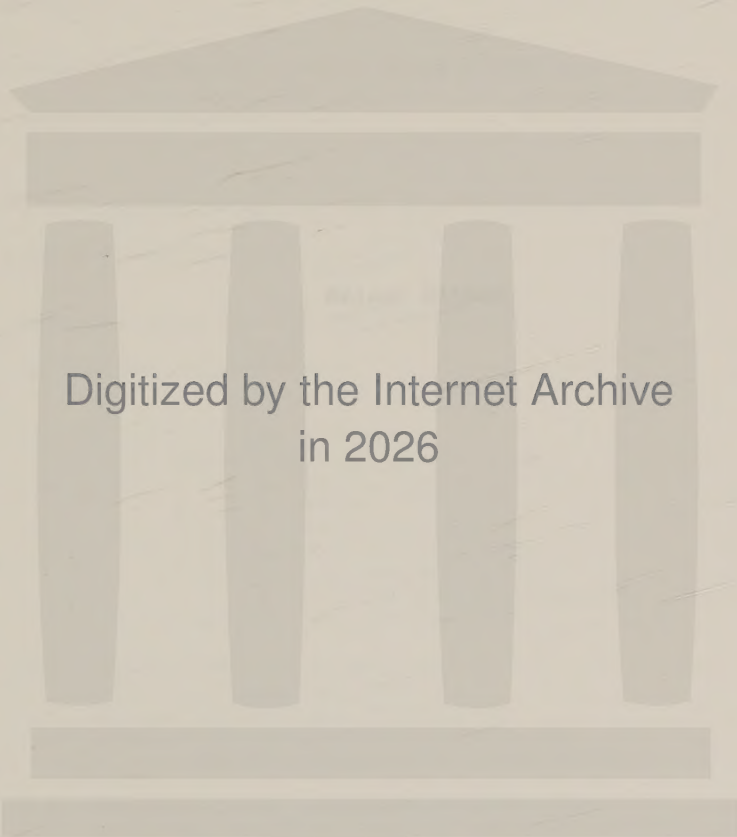
BRIGITTE WUTSCHEL
aus Witten

Bochum 1988

Referent: Prof. Dr. Werner Voß

Koreferent: Prof. Dr. Manfred Tiede

Tag der Promotion: 1. Februar 1989



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546602_0020

Meinen Eltern

GLIEDERUNG

	Seite
EINLEITUNG	1
I. BEGRIFFLICHER UND THEORETISCHER RAHMEN DER COMPUTERSIMULATION	5
1. THEORETISCHE GRUNDLAGE DER COMPUTERSIMULATION: DER SYSTEMANSATZ	6
2. GRUNDBEGRIFFE DER COMPUTERSIMULATION: MODELL UND SIMULATION	15
2.1 ZUM BEGRIFF DES MODELLS	16
2.1.1. KLASSIFIKATION VON MODELLEN	21
2.1.1.1. MODELLZIEL	23
2.1.1.2. MODELLINSTRUMENT	26
2.1.1.3. MODELLGEGENSTAND	27
2.1.1.4. MODELLRELATIONEN	29
2.1.1.5. MODELLVERHALTEN	35
2.1.1.6. MODELLKONSTRUKTIONSANSATZ	36
2.1.1.7. MODELLGÜLTIGKEIT	38
2.2. ZUM BEGRIFF DER SIMULATION	45
2.2.1. SIMULATIONSTYPEN	49
2.2.2. COMPUTER UND SIMULATION	58
2.2.3. DAS MATHEMATISCHE MODELL ALS BASISMODELL DER COMPUTERSIMULATION	61
2.3. DAS VERHÄLTNISS DER GRUNDBEGRIFFE DER COMPUTERSIMULATION: MODELL UND SIMULATION	65
3. ZUR SIMULATIONSVERBREITUNG	72

	Seite
3.1. DER ENTWICKLUNGSVERLAUF DER COMPUTERSIMULATION....	73
3.1.1. DAS M.I.T.-WELTMODELL.....	78
3.1.1.1. ZU DEN SCHLUSSFOLGERUNGEN DER M.I.T.- STUDIE.....	82
3.1.1.2. METHODISCHE KRITIK DES M.I.T.-WELTMODELLS.....	85
3.1.1.3. ZU DEN REAKTIONEN DER ÖFFENT- LICHKEIT AUF DIE M.I.T.-STUDIE....	95
4. ZUM GEGENWÄRTIGEN FORSCHUNGSSTAND.....	99
4.1. ZUR PC-ENTWICKLUNG.....	108
5. ARBEITSANSATZ.....	111
 II. BAUSTEINE DER PC-COMPUTERSIMULATION.....	115
1. ZUFALLSPROZESSE.....	115
1.1. THEORETISCHE GRUNDLAGEN DER NACHBILDUNG VON STOCHASTISCHEN MODELLRELATIONEN IM COMPUTERSIMULATIONSMODELL.....	116
1.1.1. ZUR SIMULATION VON WAHRSCHEINLICH- KEITSVERTEILUNGEN.....	120
1.1.1.1. ZUR UMWANDLUNG VON ZUFALLS- ZAHLEN IN BELIEBIG VERTEILTE ZUFALLSVARIABLEN.....	121
1.2. EIGENSCHAFTEN VON ZUFALLSZAHLEN.....	126
1.3. ZUFALLSZAHLENGENERATOREN.....	128
1.3.1. DIE ZUFALLSZAHLENGENERATOREN DER MULTIPLIKATIVEN KONGRUENZMETHODE.....	128
1.3.2. DIE ZUFALLSZAHLENGENERATOREN DER ADDITIVEN KONGRUENZMETHODE.....	131
1.3.3. DIE ZUFALLSZAHLENGENERATOREN DER GEMISCHTEN KONGRUENZMETHODE.....	132
1.3.4. DIE ZUFALLSZAHLENGENERATOREN DER PROGRAMMIERSPRACHEN.....	133

1.4.	STATISTISCHE TESTVERFAHREN ZUR PRÜFUNG VON ZUFALLSZAHLENGENERATOREN	135
1.4.1.	TESTVERFAHREN ZUR ÜBERPRÜFUNG DER ANPASSUNG EINER BEOBACHTETEN AN EINE THEORETISCHE VERTEILUNG - "GOODNESS-OF-FIT"-TEST	136
1.4.2.	PRÜFVERFAHREN ZUR UNTERSUCHUNG DES ZUFALLSCHARAKTERS VON GENERIERTEN ZUFALLSZAHLN	139
1.5.	DAS PROGRAMM "Zufallsprozesse"	143
1.6.	SIMULATIONSBAUSTEIN AUS DER EMPIRISCHEN SOZIALFORSCHUNG AM BEISPIEL DER EINKOMMENSVERTEILUNG	158
1.6.1.	SOZIALWISSENSCHAFTLICHE RELEVANZ UND BEGRIFFSKLÄRUNG DER EINKOMMENS- VERTEILUNG	158
1.6.2.	AUSGANGSDATEN	160
1.6.3.	STATISTISCHE MASSZAHLEN	162
1.6.4.	SIMULATION	163
1.6.5.	PROGRAMM	167
2.	WACHSTUMSPROZESSE	187
2.1.	ZUM WACHSTUMSBEGRIFF	187
2.1.1.	ADDITIVES ODER LINEARES WACHSTUM	189
2.1.2.	EXPONENTIELLES WACHSTUM	194
2.1.3.	EXPLOSIVES WACHSTUM	199
2.1.4.	LOGISTISCHES WACHSTUM	208
2.2.	ZEITREIHENANALYTISCHE BETRACHTUNG DES DATENMATERIALS IM VORFELD ZUR MODELL- KONSTRUKTION	214
2.2.1.	ZEITREIHENANALYSE IM VORFELD DER MODELLKONSTRUKTION	216
2.3.	SIMULATIONSBAUSTEIN AUS DER EMPIRISCHEN SOZIALFORSCHUNG AM BEISPIEL EINES EINFACHEN BEVÖLKERUNGSMODELLS	223
2.3.1.	SOZIALWISSENSCHAFTLICHE RELEVANZ DES THEMAS UND BEGRIFFSKLÄRUNG	223
2.3.2.	AUSGANGSDATEN	225
2.3.3.	ZUR MODELLENTWICKLUNG	226
2.3.4.	PROGRAMM	234



	Seite
3. DIFFUSIONSPROZESSE.....	240
3.1. ZUM DIFFUSIONSBEGRIFF.....	240
3.2. ZUR BEDEUTUNG VON DIFFUSIONSPROZESSEN IN DER INNOVATIONSFORSCHUNG.....	241
3.3. ZUR BEDEUTUNG VON DIFFUSIONSPROZESSEN IN DER EPIDEMIOLOGIE.....	246
3.4. DIFFUSIONSMODELL.....	248
3.5. SIMULATIONSBAUSTEIN AUS DER INNOVATIONS- FORSCHUNG AM BEISPIEL DER DIFFUSION VON PRAXISCOMPUTERN BEI NIEDERGELASSENEN KASSENÄRZTEN.....	255
3.5.1. BEGRIFFSKLÄRUNG UND SOZIALWISSEN- SCHAFTLICHE RELEVANZ DES THEMAS.....	255
3.5.2. ZUM DIFFUSIONSMODELL.....	256
3.5.3. PROGRAMM.....	259
 AUSBlick.....	 266
 LITERATUR.....	 272
 VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN UND TABELLEN.....	 285

EINLEITUNG

Angesichts einer zunehmenden Verbreitung von Kleinrechnern und ihres Vordringens in die Sozialwissenschaften stellt sich die Frage, in welcher Weise in den Sozialwissenschaften rechnergestützt gearbeitet wird und werden kann.

Der erste Teil dieser Frage läßt sich durch eine "Bestandsaufnahme", d.h. dadurch, daß man empirisch untersucht, zu welchen Aufgaben der Personal Computer (PC) herangezogen wird, beantworten. Ohne auf entsprechende Untersuchungen und ihre Ergebnisse vertiefend einzugehen, kann festgehalten werden, daß der Rechnereinsatz in den Sozialwissenschaften, wie auch in anderen Geisteswissenschaften, bislang überwiegend unter der Zielsetzung der Arbeitserleichterung erfolgte: Der PC eignet sich zum Einsatz in der Textverarbeitung, liefert in kürzester Zeit mathematischen Lösungen der kompliziertesten statistischen Berechnungs- oder auch Testverfahren, unterstützt in der empirischen Sozialforschung die statistische Auswertung von Fragebögen, erlaubt das Erstellen von Literaturdatenbanken u.v.a.m..

Der zweite Teil der anfangs gestellten Frage zielt dagegen darauf ab, ob durch den PC-Einsatz in den Sozialwissenschaften über die genannten und bislang genutzten Hilfsfunktionen der Arbeitserleichterung hinaus neue Möglichkeiten eröffnet werden. Eine Antwort könnte beispielsweise in der Fähigkeit eines Kleinrechners, simulative Abbildungen von gedachten oder

realen Objekten zu erstellen, oder, anders formuliert, zur Lösung von bestimmten Problemen Computersimulationsmodelle entwickeln zu können, liegen.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit interessieren Computersimulationsmodelle bzw. interessiert die rechnergestützte Simulationsmethode in den Sozialwissenschaften und die Möglichkeiten ihrer Verbreitung insbesondere durch den PC-Einsatz. Dies impliziert die Wahl einer Vorgehensweise, die einer solchen Aufteilung des Interesses entspricht. Aus diesem Grund wurde die vorliegende Arbeit in zwei Teile gegliedert.

Im ersten Teil wird der theoretische und begriffliche Rahmen der Computersimulation in den Sozialwissenschaften untersucht. Das Ziel dieses Teils der Arbeit liegt in der Beantwortung der Frage, welche Relevanz der Computersimulationsmethode in den Sozialwissenschaften zukommt (Bestandsaufnahme) bzw. ihr zukünftig wahrscheinlich zukommen wird (Entwicklungsrichtungen) und welcher Nutzen daraus gezogen werden kann und könnte.

Im Hinblick auf eine detaillierte Bestandsaufnahme und eine Abschätzung der Entwicklungsrichtung der Computersimulation allgemein und auch im Hinblick auf den PC-Einsatz in umfassender Weise, läßt folgende, hier gewählte Vorgehensweise zielführend erscheinen: In einem ersten Schritt werden die theoretische Grundlage und die Grundbegriffe der computergestützten Simulationsmethode untersucht und dargestellt. Im Anschluß daran gilt es unter dem Aspekt der Simulationsverbreitung den bisherigen Entwicklungsverlauf der Computersimulation unter Berücksichtigung der stattgefundenen Diskussion der Simulationsmethode nachzuzeichnen.

Der erste Teil der vorliegenden Arbeit wird mit den Ausführungen zum gegenwärtigen Forschungsstand, wo

eine Abschätzung der Entwicklungsrichtung dieser Methode versucht wird, und der Vorstellung des Arbeitsansatzes, der die theoretische Grundlage für den zweiten Teil der Arbeit bildet, abgeschlossen.

Nachdem im ersten Teil die methodischen Grundlagen der rechnergestützten Simulationsmethode erarbeitet worden sind, was im Hinblick auf die Darstellung möglicher Anwendungsbereiche in den Sozialwissenschaften notwendig ist, befaßt sich der zweite Teil dieser Arbeit mit den Möglichkeiten der Verbreitung der Computersimulation in den Sozialwissenschaften insbesondere unter Berücksichtigung des PC-Einsatzes.

Ausgehend von dem Gedanken, daß man bei der Konstruktion von Computersimulationsmodellen jeglicher Art vor ganz bestimmten, immer wiederkehrenden Abbildungsproblemen, wie beispielsweise der Erfassung von Zufalls-, Wachstums- oder Diffusionsprozessen, steht, werden zur Problemlösung Bausteine simulierter Elementarprozesse entwickelt, die in Form von Computerprogrammen zur Verfügung gestellt werden.

Mit dieser Vorgehensweise sollen zum einen Einsatzmöglichkeiten der Simulationsmethode auf dem PC gezeigt und zum anderen soll zugleich angedeutet werden, daß eine Baustein-Technik die Anwendung vereinfachen und somit die Akzeptanz bzgl. dieses Methodeneinsatzes in den Sozialwissenschaften erhöhen könnte. So ist es vorstellbar, daß eine Vielzahl von Modulen bzw. Bausteinen entwickelt wird, die in größere Simulationsmodelle einfließen können, was einer "Bottom-To-Top"-Konstruktion entspricht, die sich zugleich durch den Vorteil der Überschaubarkeit und durch ihre Anwenderfreundlichkeit auszeichnet.

Darüber hinaus wurde zur Veranschaulichung der Tatsache, daß die Entwicklung eines Bausteins nicht nach

einem strengen Schema erfolgen muß, jeweils eine andere Vorgehensweise gewählt, was zugleich den demonstrativen Charakter der Bausteine betont.

Das Ziel des zweiten Teils der Arbeit liegt in der Veranschaulichung von Möglichkeiten, die eine Verbreitung der Simulationsmethode unterstützen könnten. Erst ein Ausbau und eine Erweiterung der Baustein-Beispiele würden die konkrete Anwendung ermöglichen, was aber im Rahmen dieser mehr grundlagenorientierten Arbeit nicht geleistet werden kann.

Zum Abschluß der Arbeit wird ein Ausblick gegeben, in dem (allerdings in Abweichung zum traditionellen Vorgehen) Hypothesen darüber entwickelt werden, wodurch eine Diffusion der Computersimulationsmethode in den Sozialwissenschaften bewirkt oder forciert werden könnte.

I. THEORETISCHER UND BEGRIFFLICHER RAHMEN DER COMPUTERSIMULATION

Eine umfassende Darstellung des theoretischen und begrifflichen Rahmens der Computersimulation (CS) erforderte in einem ersten Schritt eine sorgfältige Sichtung der entsprechenden Literatur unter verschiedenen Gesichtspunkten bzw. Leitfragen.

Dabei erschien die Suche nach den Grundbegriffen der CS, ihren Definitionen und der allen Veröffentlichungen gemeinsamen theoretischen Begründung der CS zielführend.

Sowohl die theoretische Grundlage der CS - die Systemtheorie - als auch die Grundbegriffe der CS - Modell und Simulation - ließen sich eindeutig identifizieren. Aufgrund der Tatsache, daß die Systemtheorie als theoretischer Hintergrund gleichzeitig den Bezugsrahmen für die Grundbegriffe bildet, ergibt sich die Notwendigkeit, vor der Begriffsklärung in einem ersten Schritt die Systemtheorie in ihrer Bedeutung für die CS vorzustellen. Diese Vorgehensweise läßt es sinnvoll erscheinen, sich bei der Erläuterung der Systemtheorie auf den für die CS relevanten Teil zu beschränken.

1. THEORETISCHE GRUNDLAGE DER COMPUTERSIMULATION: DER SYSTEMANSATZ

Ausgangspunkt zur Herleitung des theoretischen Hintergrundes bildet die Sichtweise des Gegenstandsbereiches der CS als umfangreiches und kompliziertes Gebilde sozio-technischer Natur oder als komplexes gedankliches System. Um nun aber gerade die Komplexität derartiger Gebilde und das sich in ihnen vollziehende Geschehen erfassen und analysieren zu können, ergeben sich verschiedene Anforderungen an den theoretischen Bezugsrahmen. So muß eine einheitliche Terminologie und die Postulierung allgemeiner Annahmen vorliegen, "die für verschiedenartigste Erscheinungen gleicherweise Gültigkeit haben"¹. Darüber hinaus ist von einem solchen Bezugsrahmen zu fordern, daß er die Möglichkeit eröffnet, die Gemeinsamkeiten der untersuchten Phänomene zu betrachten und "mithin geeignet ist, Übereinstimmungen in den Strukturen einer Vielzahl von heterogenen Einzelproblemen aufzuzeigen"².

Die aufgeführten Anforderungen stimmen weitgehend mit den Möglichkeiten der Systemtheorie³ überein, zumal darüber hinaus noch Elemente bzw. Vorstellungsweisen der Kybernetik berücksichtigt werden können.⁴ Durch die Anwendung dieses Ansatzes als theoretischen Hin-

1 ELLENBERGER, H.: Grundlagen der Konstruktion und Auswertung von Simulationsmodellen für die betriebliche Entscheidungsvorbereitung, Hochschule St.Gallen für Wirtschafts- u. Sozialwissenschaften, Diss. St. Gallen 1975, S.34

2 Ebenda

3 Vgl. BERTALANFFY, L.V.: General System Theory - A Critical Review, in: Buckley, W. (Ed.): Modern Systems Research for the Behavioral Scientist, Chicago 1972, S.11-30

4 Vgl. VOB, W./WUTSCHEL, B.: Kybernetik, in: Wörterbuch der Soziologie, noch unveröffentlicht

tergrund der CS wird es möglich, einen Untersuchungsgegenstand in seinen Bezügen darzustellen, um dadurch zur Lösung komplexer Probleme zu gelangen. Zielführend nutzt man dabei die ganzheitliche Betrachtungsweise der Systemtheorie⁵, "wonach Zustand und Verhalten eines Systems nicht von der Struktur seiner Elemente allein, sondern vielmehr von den Beziehungen der Elemente untereinander und zur Umwelt bestimmt werden"⁶. In diesem Sinne ist ein System als Ganzes mehr als die Summe seiner Teile. Diese Betrachtungsweise schafft die Voraussetzungen, dynamische Prozesse untersuchen zu können, sofern das interessierende komplizierte Gebilde, der Untersuchungsgegenstand, als ein System identifiziert bzw. aufgefaßt werden kann. Damit ergibt sich die Frage, wie ein System zu definieren ist.

Zum Systembegriff

In Übereinstimmung mit der Literatur wird im Sinne der Kybernetik und der Systemtheorie ein System als eine endliche, geordnete Menge von miteinander verbundenen Elementen definiert.

Unter einem Element versteht man einen Grundbestandteil eines Systems, das innerhalb dieser Gesamtheit nicht weiter zerlegt werden kann.

Die Struktur eines Systems besteht aus der Menge der Relationen zwischen den Elementen.

Eine Beziehung oder Relation liegt vor, wenn der Output eines Elements ganz oder teilweise zum Input eines anderen Elementes wird. Versteht man unter Input die

5 "Der systemtheoretische Ansatz beruht auf der Erkenntnis, daß alles von allem beeinflusst wird."

RAPOPORT, A.: Mathematische Methoden in den Sozialwissenschaften, Würzburg - Wien 1980, S.60

6 ELLENBERGER, H.: Grundlagen der Konstruktion ..., a.a.O., S.35

Einwirkungen auf ein bestimmtes Element durch seine Umgebung, stellt sich das Verhältnis von der übrigen Elementenmenge zum Element als Umwelt-Element-Relation dar. Dementsprechend läßt sich Output als Element-Umwelt-Relation auffassen bzw. sind darunter die Auswirkungen des Elementes auf die Umwelt zu verstehen. Gegenstand dieser Austauschprozesse können z.B. Informationen, Energie oder Materie sein.

Bei der Untersuchung von Systemen interessieren zum einen die internen Beziehungen zwischen den Elementen und damit implizierend die Systemstruktur, zum anderen das Verhältnis des Systems zu seiner Umwelt und damit implizierend sein Verhalten.

In Anlehnung an die von Krüger⁷ vorgeschlagene Veranschaulichung des Systembegriffs, wird folgende Darstellungsweise von System ausgewählt, um einige Unterscheidungskriterien von Systemen zu entwickeln:

- Elemente werden als Kreise
- Relationen als Verbindungslinien dargestellt.

Wenn man nun die Menge der Elemente mit M und die der Relationen mit R bezeichnet, so besteht das System S aus der Menge der beiden, d.h. $S = \{M, R\}$. Ein solches System könnte z.B. folgende Konfiguration haben:

⁷ KRÜGER, S.: Simulation. Grundlagen, Techniken, Anwendungen, Berlin - New York 1975, S.14f

Abb.1: Geschlossenes System

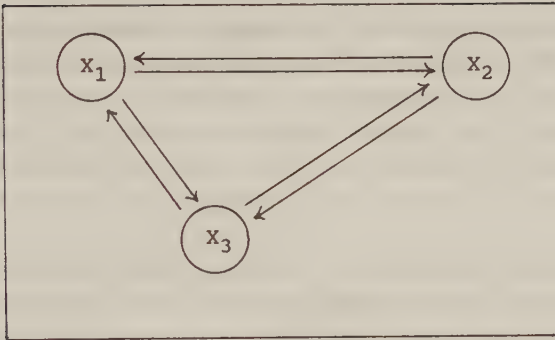
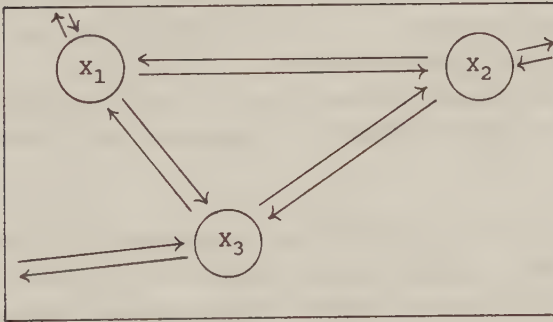


Abb.2: Offenes System



Bei dem in Abbildung 1 vorgestellten System existieren im Gegensatz zu dem in Abbildung 2 veranschaulichten System keine Relationen, die die durchgezogene Abgrenzung überschreiten; es handelt sich demnach um ein geschlossenes System, d.h. kein Element steht in Wechselwirkung zu Elementen anderer Systeme.

Geht man davon aus, daß reale Systeme immer auch offene Systeme (Abb.2) sind, muß in diesem Zusammenhang

darauf hingewiesen werden, daß die Systemgrenze bei der Untersuchung von realen ebenso wie bei nicht-realen in Abhängigkeit vom Untersuchungszweck gezogen wird.⁸ Die Systemgrenze ist also das Resultat der Ermessenfrage, ob eine Interaktion zwischen System und Umwelt in die Untersuchung miteinbezogen wird oder nicht. Wird ein reales System dennoch als ein geschlossenes betrachtet, so ist dies nur approximativ geschlossen.

Wie erwähnt, interessiert bei der Systemuntersuchung das Systemverhalten. Wenn aber dieses Verhalten in Übertragung des schon entwickelten Input-Output-Schemas als Systemoutput, d.h. als Auswirkung auf die Systemumwelt aufgefaßt werden soll, existiert bei einem geschlossenen oder auch einem approximativ geschlossenen System, das gerade durch die Ausgrenzung der Umwelt gekennzeichnet ist, nicht die Möglichkeit des Nachweises von Systemverhalten.

Die Lösung dieses Problems liegt in der Anwendung eines mehr kybernetischen Verständnisses von Systemverhalten.

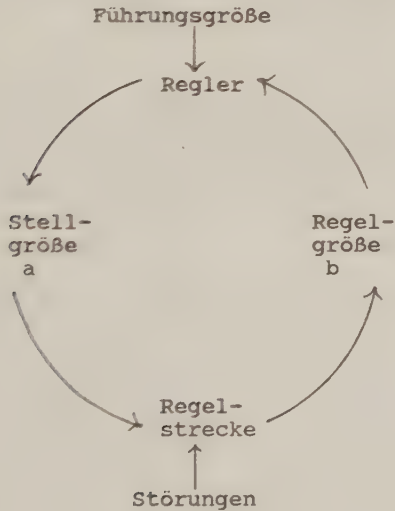
In einem kybernetischen System bezeichnet man Verhalten als die Fähigkeit des Systems bei einer Störung des Gleichgewichtes durch Rückkoppelung wieder zum

⁸ "Ein System hat eine Systemgrenze, die es von seiner Umwelt trennt. Diese Grenze ist nur in solchen Fällen eindeutig, wo kein Austausch von Stoffen, Energie oder Information mit der Umwelt besteht, oder wo das System eine zusammenhängende physische Einheit bildet. In vielen praktischen Fällen muß eine Systemgrenze definiert werden durch eine Oberfläche um das System, durch die nur schwache Interaktionen mit Komponenten der Umgebung stattfinden oder in dem die vom System nicht beeinflussbaren Umweltfaktoren als externe Systemgrößen definiert werden."

BOSSEL, H.: Systemdynamik. Grundwissen, Methoden und BASIC-Programme zur Simulation dynamischer Systeme, Braunschweig 1987, S.11

Gleichgewicht zurückzukehren. Diese Auffassung von System als Regelungssystem rekurriert aber nur auf den Fall eines stabilen Systems, das entweder Umwelteinflüssen nicht ausgesetzt ist oder sich diesen entziehen kann und läßt sich graphisch wie folgt veranschaulichen:

Abb.3: Kybernetischer Regelkreis



Wie in der Graphik verdeutlicht, besteht ein kybernetisches Regelsystem aus einem Regler und einer Regelstrecke. Störungen wirken auf die Regelstrecke ein, so daß diese Veränderungen über die Regelgröße b zum Regler gemeldet werden. Besonderes Kennzeichen des kybernetischen Regelkreises ist die eingebaute Rückkopplung, d.h. die dem Regler über die Regelgröße mitge-

teilten Informationen über den Ist-Zustand des Systems vergleicht er mit dem vorgegebenen Sollwert des Systems. Dieser Sollwert oder Soll-Zustand kann als Aufgabenstellung des Reglers oder als Führungsgröße bezeichnet werden. Bei gemeldeter Abweichung vom Sollwert wird über die Stellgröße, die Rückkoppelung also, korrigierend auf die Regelstrecke eingewirkt. Damit schließt sich der Regelkreis und das System hat somit die Fähigkeit, sich selbst zu stabilisieren. Das Verhalten des Systems findet also nur innerhalb desselben und nicht im Austausch mit seiner Systemumwelt statt.

Unabhängig davon, ob nun eine kybernetischer Regelkreis oder ein offenes System der Gegenstand der Betrachtung ist, kann zusammenfassend festgehalten werden, wenn eine Untersuchungsgegenstand als System aufgefaßt werden kann, interessiert seine Struktur und sein Verhalten.

Kann das Verhalten als bekannt vorausgesetzt werden, muß über die modellmäßige Synthese die dementsprechende Struktur gesucht werden. Unter modellmäßiger Synthese versteht man in diesem Zusammenhang das Entwickeln von einem dem Systemverhalten entsprechenden bzw. adäquaten Modell, indem die Modellelemente oder die Modellteile zusammengefügt werden. Angesichts dieser Vorgehensweise erscheint das Argument einsichtig, daß man sich bei der modellmäßigen Synthese lediglich für eine von vielen möglichen Strukturen, die alle dasselbe Systemverhalten generieren können, entscheidet. Man muß jedoch gleichzeitig betonen, daß auch hier in der Literatur die Ansichten darüber auseinandergehen.

Kennt man demgegenüber die Struktur des Systems⁹, liegt die Lösung in der Analyse des Systems.

Im Fall der Unkenntnis sowohl über die Struktur wie über das Verhalten, erscheint das System als "black box".

"Die Aufgabe besteht dann darin, durch Variation des Inputs in das System Gesetzmäßigkeiten seines Verhaltens aufzudecken und daraus evtl. Hypothesen über die mögliche Struktur abzuleiten, die zum Gegenstand weiterer Untersuchungen gemacht werden können. Bei den meisten Computersimulationsmodellen, die sehr komplexe Systeme nachbilden, ist ein Moment der Black-box-Problematik im Spiel."¹⁰

Gerade an dieser Stelle wird deutlich, daß innerhalb der Literatur über Computersimulation wenig Konsens bzgl. einiger Begriffsinhalte oder Begriffsdefinitionen besteht. So wird in der Literatur auch die Situation als black box bezeichnet, in der in Kenntnis des Systemverhaltens versucht wird, durch Variation der Systeminputs auf die dazugehörige Struktur zu schließen, wie schon bereits im Rahmen der Erläuterung der modellmäßigen Synthese angesprochen.

Nachdem wichtige Aspekte der theoretischen Grundlage der CS dargestellt worden sind, soll abschließend noch hervorgehoben werden, daß die Systemtheorie bzw. die von ihr zur Verfügung gestellte Methode, die Systemanalyse, in der CS verstärkt vor der Konstruktion des Simulationsmodells Anwendung findet. Hier gilt es näm-

9 Anm.: Hier muß darauf hingewiesen werden, daß einige Autoren die Erkenntnismöglichkeit über die Struktur eines Systems negieren.

Vgl. WAGNER, G.: Mikrosimulation - ein neues Instrument für Sozioökonomische Analysen, in: Angewandte Informatik 1982, Heft 10 Fußnote 4, S.519
10 HARBORDT, ST.: Computersimulation in den Sozialwissenschaften. 2 Bände, Reinbek bei Hamburg 1974, S.48

lich, den zu untersuchenden Tatbestand durch die Systemanalyse oder -untersuchung zu erfassen.

Erst wenn die wesentlichen Determinanten des sich im untersuchten System vollziehenden Geschehens und ein Überblick über die Beziehungsstruktur der Elemente bekannt sind, kann in einem nächsten Schritt mit der Modellbildung begonnen werden.

2. GRUNDBEGRIFFE DER COMPUTERSIMULATION: MODELL UND SIMULATION

Im Rahmen der Literatur, die sich mit CS beschäftigt, werden die Grundbegriffe der CS Modell und Simulation zwar einheitlich angeführt, jedoch mit z.T. verschiedenen Inhalten belegt, so daß sich die Fülle der für die Grundbegriffe vorgeschlagenen Definitionen als problematisch¹ erweist.

Dieser Tatsache wird in der vorliegenden Arbeit dadurch Rechnung getragen, daß die Definitionen, die für das Verständnis der zu einem späteren Zeitpunkt erfolgenden Diskussion um die Computersimulationsmodelle notwendig erscheinen, explizit herausgestellt und die anderen entweder im Text oder in einer Fußnote skizziert werden.

Da im Verlauf der Arbeit wiederholt die Grundbegriffe der CS angewendet werden, soll im Rahmen der Begriffsklärung darüber hinaus gleichzeitig entweder diejenige Definition kenntlich gemacht werden, die nachfolgend die Arbeitsgrundlage bilden wird, oder aber eine neu entwickelte hinzugefügt werden.

¹ Auf dieses Problem weist auch Haas hin: "Eine weitere Gefahr, ..., liegt in dem unterschiedlichen Gebrauch allgemeiner Begriffe, die bei der Begründung und Erklärung der Modelle gewonnen werden. Diese Gefahr ist nicht zu unterschätzen; die unklaren Begriffe weisen auf ein unklares Bewußtsein."

HAAS, P.: Kritik der Weltmodelle: Philosophische Aspekte globaler Modellierungen. Beiträge des Instituts für Zukunftsforschung Bd.12, München 1980, S.18
Ebenso Cole: "Different authors use the same words to express different ideas, often adapting their language to the jargon of the day..." COLE, S.: The Global Future Debate 1965-1976, in: Freeman, CH./Jahoda, M. (Ed.), World Futures, London 1978, S.48

Vorab soll noch darauf hingewiesen werden, daß nicht zuletzt der Begriff "Computersimulationsmodell", der die vermeintliche Einheit der Grundbegriffe vermittelt, die Frage nach der Notwendigkeit des nachfolgend mehr analytischen Vorgehens in Form einer singulären Betrachtung der Begriffe aufkommen läßt.

Im Hinblick auf die Intention einer Einführung in die Computersimulation bzw. die Simulationsforschung, scheint dieses systematische Vorgehen gerechtfertigt, zumal auf die Verbindung von Modell und Simulation in einem späteren Teil der Arbeit eingegangen wird.

2.1. ZUM BEGRIFF DES MODELLS

Sieht man von den geläufigen, alltagssprachlichen Bedeutungen des Wortes "Modell"² ab, wird eine Auseinandersetzung mit den vielfältigen, wissenschaftlichen Definitionsversuchen unumgänglich. Dabei zeigt sich als gemeinsames Merkmal aller Definitionen, daß in ihnen die Absicht der Modellkonstruktion festgeschrieben wird.

2 "Modell...Muster, Vorbild, Typ; Entwurf, Nachbildung; Gießform; nur einmal in dieser Form hergestelltes Kleidungsstück...."

Duden "Rechtschreibung der deutschen Sprache und der Fremdwörter"/Hrsg. von d. Dudenred. Im Einvernehmen mit d. Inst. für Dt. Sprache, 18. Auflage, Mannheim, Wien, Zürich: Bibliographisches Institut, 1980, S.467

Nach Nowak³ können fünf verschiedene Modellbegriffe unterschieden, bzw. kann der Zugang zur Begriffsklärung über fünf verschiedene Wege versucht werden.

So kann ein Modell als formalisierte Theorie, als Hypothesengebäude, als Theorieapproximation, als isomorph-analoge Theorie und schließlich als Realitätsapproximation verstanden werden.

Vordergründig gibt es zwischen den Begriffen "Schnittmengen", "aber sie werden nach unterschiedlichen Kriterien definiert"⁴.

Im ersten Modellbegriff erfolgt eine Gleichsetzung von Modell und formalisierter Theorie, die das Resultat einer Übersetzung einer existierenden Theorie in eine formale Sprache ist.

"Bei einer formalisierten Theorie werden beschreibende Begriffe durch abstrakte Symbole ersetzt und die logische Struktur der sie verbindenden Sätze wird explizit gemacht."⁵

In diesem Zusammenhang versteht man also unter einer formalen Sprache "eine Kunstsprache, die aus einer Menge von uninterpretierten Zeichen (Symbolen) und aus Regeln für die syntaktische Verwendung der Zeichen (Operationenregeln) besteht. Diese Operationsregeln gelten unabhängig von der inhaltlichen Interpretation der Zeichen".⁶

3 NOWAK, J.: Bausteine einer sozialwissenschaftlichen Methodologie der Simulation, in: Klages, H. (Hrsg.): Werkstattpapiere, Zur Analyse und Planung gesellschaftlicher Veränderungen, Meisenheim am Glan 1973, S.32ff

4 Ebenda, S.32

5 MAYNTZ, R. (Hrsg.): Formalisierte Modelle in der Soziologie, Neuwied am Rhein - Berlin 1967, S.13

6 HARBORDT, ST.: Computersimulation in den Sozialwissenschaften, 2 Bände, Reinbek bei Hamburg 1974, S.242

Renate Mayntz bezeichnet diesen Modellbegriff zwar als den gängigsten und ihrer Ansicht nach auch zweckmäßigsten Modellbegriff⁷, aber auch hier wird die Frage, welche Formalisierungsmittel bzw. Operationsregeln anzuwenden sind, offengelassen.

Der zweite Definitionsversuch versteht unter einem Modell ein Hypothesengebäude, bei dem also "weder die Postulate noch die Ergebnisse unmittelbar der beobachteten Wirklichkeit entsprechen. Dabei leitet man aus theoretischen Annahmen, die mehr oder weniger plausibel, aber empirisch nicht bestätigt sind, Vorhersagen der - ebenfalls nicht beobachteten - Verteilung von Ergebnissen ab"⁸. In diesem Zusammenhang weist Renate Mayntz auf die dieser Sichtweise immanente Gefahr des Abrutschens in die rein interlektuelle Spielerei hin, betont aber gleichzeitig, daß hier zumindest die hypothetische Vorklärung möglicher Zusammenhänge gegeben sei.

"Derart spekulative Vorgriffe auf die Wirklichkeit können sich bei späterer Überprüfung durchaus als wertvoll erweisen. Dieser Wert fehlt auch dort nicht ganz, wo prinzipiell unbeobachtete Zusammenhänge postuliert werden; ist die Vorhersage korrekt, weiß man immerhin, daß die Wirklichkeit so ist, als ob sie von den im Modell formalisierten Prozessen bestimmt würde. Das ist, häufiger als der Optimist meinen mag, das Beste, was eine wissenschaftliche Erklärung leisten kann."⁹

In einem späteren Teil der Arbeit wird auf diese Definition rekuriert.

7 MAYNTZ, R. (Hrsg.): Formalisierte Modelle .., a.a.O., S.13

8 Ebenda, S.18

9 Ebenda

Nowak entwickelte einen dritten Modellbegriff, der sich an den vorangegangenen insofern anlehnt, als daß die Hypothesen um bereits empirisch überprüfte Thesen ergänzt werden.

"Das Modell ist der Versuch einer iterativen Einlösung der Theorie im Sinne eines lernenden Modells, das laufend verbessert wird, bis das Modell mit der Theorie identisch ist."¹⁰

Da das Modell hier einen Schritt zur Theoriebildung darstellt, der aber wiederholt durchlaufen wird, ist seine Einstufung als Theorieapproximation nachvollziehbar. Allerdings muß darauf hingewiesen werden, daß zu einer eindeutigen Begriffsbestimmung eine Unterscheidung von Modellierung und Modell hilfreich erscheint.

Im vierten Versuch der Begriffklärung wird die Identität von einem Modell und einer isomorph-analogen Theorie postuliert. Diese in dieser Definition angesprochene Isomorphie zwischen zwei Theorien geht auf May Brodbeck zurück, die von folgendem ausgeht:

"If laws of one theory have the same form as the laws of another theory, then one may be said to be a model for the other"¹¹.

Wenn sie weiter schreibt "isomorphism of the laws of one of the theory with those of another unequivocally defines the term 'model'"¹², wird klar, daß es sich bei diesem Definitionsversuch um einen sehr enggefaßten handelt.

10 NOWAK, J.: Bausteine einer sozialwissenschaftlichen..., a.a.O., S.33

11 BRODBECK, M.: Models, Meaning and Theories, in: Gross, L. (Ed.): Symposium of Sociological Theory, New York - Evanston - London 1969, S.379

12 Ebenda, S.381

Zwei Theorien, die sowohl den gleichen Gesetzen gehorchen, die gleichen Elemente aufweisen, den gleichen strukturellen Beziehungen unterliegen, sind isomorph zueinander. Es existiert zwischen ihnen eine eindeutige¹³ Zuordnung und damit implizierend eine Analogie. Somit ist die eine Theorie das Modell der jeweils anderen und umgekehrt. Da zwei Theorien, die diese Bedingungen erfüllen, in der Realität eine seltene Ausnahme sind, erscheint dieser Modellbegriff unzweckmäßig restriktiv.

Der fünfte Versuch der Begriffklärung bezeichnet ein Modell als Realitätsapproximation, einer Annäherung an die Realität durch ihre Abbildung. Geht man von einer isomorphen Abbildung aus, stellt sich u.a. das Problem der Komplexitätsbewältigung. So könnte eine Lösung in der isomorphen Abbildung eines selektiven Realitätsausschnittes liegen oder aber der Modellbegriff muß dem aufgezeigten Problem dahingehend Rechnung tragen, daß eine entsprechende Eingrenzung vorgenommen wird:

In Anlehnung an Nowaks Definition soll ein Modell als der Versuch einer Abbildung eines interessierenden Realitätsausschnittes¹⁴ auf der Basis einer Theorie verstanden werden, "indem in der Wirklichkeit bestehende interdependente Abhängigkeiten durch ein Netzwerk von Variablen möglichst isomorph erfaßt werden"¹⁵. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, daß der Isomorphiegrad der Abbildung sowohl vom Modellziel, -instrument, -gegenstand, -konstruktionsansatz, -verhalten, von den Modellrelationen als auch

13 Vgl. MESCHKOWSKI, H.: Mathematisches Begriffswörterbuch, Stichwort <Isomorphie>, Mannheim 1976, S.131

14 Anm.: Auf das Abbildungsproblem, das sich immer dann ergibt, wenn das Modell selbst zum interessierenden Realitätsausschnitt gehört, kann an dieser Stelle nicht eingegangen werden.

15 NOWAK, J.: Bausteine einer sozialwissenschaftlichen..., a.a.O., S.35

von der Modellgültigkeit beeinflusst wird, was eine gewisse Willkürlichkeit von Seiten des Forschers nur dann ausschließen kann, wenn bei der Modellkonstruktion alle Entscheidungen transparent gemacht werden.

Bevor in einem nächsten Schritt die in der Realität vorfindbaren Modelle durch Klassifikation überblickbar aufgefächert werden, sollen die der vorliegenden Arbeit zugrundeliegenden Definitionen noch einmal hervorgehoben werden.

So wird wiederholt sowohl auf die zuletzt in Anlehnung an Nowak entwickelte Definition als auch auf die dargestellte Vorstellung von Modell als Hypothesengebäude Bezug genommen. Dadurch erschließt sich ein relativ umfassender Anwendungsbereich, denn diese beiden Definitionen ermöglichen die Abbildung eines wirklichen oder eines gedachten Objekts. Auf diesen Aspekt wird zu einem fortgeschritteneren Zeitpunkt rekurriert.

2.1.1. KLASSIFIKATION VON MODELLEN

Eine Klassifikation erfolgt nach ganz bestimmten Kriterien, deren Auswahl vom Kenntnisstand und vom Erkenntnisinteresse abhängt. Diese Tatsache schlägt sich in der Fülle der in der Literatur vorfindbaren Klassifikationsversuchen nieder. Daraus ergibt sich unmittelbar die Notwendigkeit, eine repräsentative Auswahl zu treffen. Mit zunehmender Verbreitung der Modellmethode in den Sozialwissenschaften sind Anwendungsorientierungen als Klassifikationskriterien in den Vordergrund gerückt, während beispielsweise in der "traditionellen" ökonomischen Literatur in erster

Linie Methoden- und formale Aspekte¹⁶ zur Differenzierung zwischen den verschiedenen Modelltypen verwendet werden. Aus diesem Grund wurde als Basis der vorliegenden Klassifikation eine Einordnung nach den in der sozialwissenschaftlichen Literatur gebräuchlichsten Kriterien Modellziel, -instrument, -gegenstand, -relationen, -verhalten, -konstruktionsansatz und -gültigkeit versucht, wobei verschiedene Kriterien ein- oder mehrfach dichotomisch differenziert werden. Diese Auswahl impliziert, daß beispielsweise auf Modellklassifikationskriterien der Ökonometrie nur insoweit eingegangen wird, wie sie - quasi als Schnittmenge - in der entsprechenden sozialwissenschaftlichen Literatur berücksichtigt werden. So werden nachfolgend die Unterscheidungen in Global und Teilmodelle¹⁷, in Einzelgleichungs- und Mehrgleichungsmodelle¹⁸ oder in Modelle mit Fehlern in den Variablen und in Modelle mit Fehlern in den Gleichungen¹⁹ nicht ausgeführt, wenngleich die Fragestellungen, die diesen Klassifikationsversuchen zugrunde liegen, auch für den hier interessierenden sozialwissenschaftlichen Bereich relevant sind bzw. sein könnten.

Betrachtet man z.B. dazu die zuletzt genannte ökonometrische Modelldifferenzierung in Modelle mit Fehlern in den Variablen (Meßfehler²⁰) und solchen mit Fehlern in den Gleichungen, läßt das nachfolgende Zitat die Übertragbarkeit in sozialwissenschaftliche Klassifika-

16 FROHN, J.: Grundausbildung in Ökonometrie, Berlin - New York 1980, S.11

17 Ebenda

17 Ebenda

19 Ebenda, S.13

20 Vgl. ASSENMACHER, W.: Einführung in die Ökonometrie, München - Wien - Oldenbourg 1980, S.24, insbesondere Fußnote 2

tionsschemata aufgrund ähnlich gelagerter Modell- und Modellierungsprobleme erahnen:

"Geht man davon aus, daß die Variablen in den Gleichungen nicht genau beobachtet werden können, also mit Beobachtungsfehlern behaftet sind, so liegt der erstgenannte Modelltyp vor. Legt man dagegen fest, daß die auftretenden Abweichungen ausschließlich auf die Unvollständigkeit des Erklärungsansatzes der Gleichungen zurückzuführen sind, so handelt es sich um ein Modell mit Fehlern in den Gleichungen."²¹

Ohne den Vergleich bzgl. der unterschiedlichen Differenzierungen der Modelltypen in den Sozialwissenschaften und in der Ökonometrie detailliert auszuführen, kann abschließend festgehalten werden, daß die nachfolgend vorgestellten sozialwissenschaftlichen Modelltypen überwiegend auch in der ökonometrischen Literatur zu finden sind.

2.1.1.1. MODELLZIEL

In Abhängigkeit vom Modellziel lassen sich Deskriptions-, Erklärungs- und Prognose-, Struktur- und Verhaltens-, Funktions-, und Entscheidungsmodell unterscheiden.

Ein Deskriptionsmodell erfüllt als einzige Aufgabe die Beschreibung des gegenwärtigen Zustandes, also des Ist-Zustandes, eines Gegenstandsbereichs. Es handelt sich hier um die allgemeinste und grundlegendste Form

21 FROHN, J.: Grundausbildung in Ökonometrie, a.a.O., S. 13

eines Modells. Fast alle Modelltypen implizieren ein Deskriptionsmodell bzw. bauen darauf auf.

In einem Erklärungs- und Prognosemodell versucht man den Untersuchungsgegenstand, wie z.B. ein System, aufgrund eines bestimmten Erkenntnisinteresses zu erklären, um anschließend Prognosen erstellen zu können. Zielführend erweist sich hierbei die Nutzung des wissenschaftstheoretisch fundierten Zusammenhangs von Erklärung und Prognose. So gilt aus wissenschaftstheoretischer Sicht nur dann ein Modell als Erklärungsmodell, "wenn die darin enthaltenden Aussagen über die Variablenverknüpfungen entweder den Charakter von beschränkt allgemeinen Gesetzmäßigkeiten haben oder ihrerseits aus solchen erklärt werden"²². Handelt es sich also um ein Modell, das den Objektbereich erklären kann, "lassen sich aus denselben Erklärungen auch Vorhersagen folgern"²³.

Angesichts der Tatsache, daß die Voraussetzung der aus dem Erklärungsmodell abgeleiteten Prognosen die "Wenn-dann-Beziehung" ist, eine Prognose also nur eine konditionale Voraussage ermöglicht, kommt die wissenschaftstheoretische Streitfrage auf, ob die Bezeichnung 'bedingte Prognose' oder 'Projektion' nicht vorzuziehen ist.

22 HARBORDT, ST.: Computersimulation in den Sozialwissenschaften, a.a.O., S.169

Anm: Die Erklärungen eines solchen Modells nennt man deduktiv-nomologisch oder kurz: DN-Erklärungen. Vgl. Giesen, B./Schmid, M.: Basale Soziologie: Wissenschaftstheorie, in: Reimann, H. (Hrsg.): Studienreihe Gesellschaft, Opladen 1977, S.55

23 NOWAK, J.: Bausteine einer sozialwissenschaftlichen..., a.a.O., S.37

Diese Diskussion soll hier nicht erneut geführt werden²⁴. Allerdings ist festzuhalten, daß in der vorliegenden Arbeit Prognose als konditionale Voraussage verstanden wird.

Der dritte Modelltypus, das Struktur- und Verhaltensmodell, will die wesentlichen Strukturen abbilden und daraus das zu beobachtende Verhalten des Gegenstandsbereichs ableiten.

Von einem 'reinen' Verhaltensmodell verlangt man, daß es deskriptiv das Verhalten des Erkenntnisobjektes reproduziert. Dabei wird unter Vernachlässigung der Realitätsstruktur der Modelloutput mit dem Objektoutput verglichen, d.h. die Realitätsstruktur wird im Modell als 'black box' aufgefaßt (vgl. Kapitel I.1.). Dadurch kann bei Verhaltensähnlichkeit nicht auf Strukturähnlichkeit geschlossen werden.

Liegt demgegenüber ein reines Strukturmodell vor, so muß es zwar zumindest die Bedingung einer möglichst strukturähnlichen, also homomorphen, Abbildung erfüllen, erlaubt aber in vielen Fällen gleichzeitig Aussagen über das Objektverhalten.²⁵

Im Funktionsmodell gilt die Aufmerksamkeit den funktionalen Zusammenhängen eines Objektbereichs. Zielführend ist hier lediglich die Erfassung von gegenseitigen Abhängigkeiten zwischen den Variablen eines Modells.

24 Vgl. HARBORDT, ST.: Computersimulation in den Sozialwissenschaften, a.a.O., Kapitel 5.2.3. Exkurs über Erklärung und Prognosen, S.166-175

Vgl. GIESEN, B./SCHMID, M.: Basale Soziologie..., a.a.O., Kapitel 2 "Problem der Erklärung: Gesetze und Theorien, insbesondere S.49-59

25 Vgl. Fußnote 9

Der letzte Modelltypus, das Entscheidungsmodell, muß zwar ebenfalls u.a. funktionale Zusammenhänge berücksichtigen, geht aber noch darüber hinaus, indem es konkrete Entscheidungshilfen liefern soll.

Ein Entscheidungsmodell ist durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

"Eine oder mehrere Modellvariablen müssen durch eine Entscheidungsinstanz beeinflussbar sein und deren Handlungsalternativen darstellen; diese <Entscheidungsvariablen> müssen in einer <kausalen> Beziehung zu den Outputvariablen stehen; die Outputvariablen müssen ein Maß für die Bewertung der Handlungsalternativen sein. Entscheidungsmodelle werden in der Regel zur Lösung von Optimierungsproblemen benutzt."²⁶

2.1.1.2. MODELLINSTRUMENT

Ausgehend von der Frage, welches Modellinstrument gewählt wurde, läßt sich eine andere Klassifikation in ikonische, verbale und formale Modelle vornehmen.

Handelt es sich um eine verkleinerte und vereinfachte materielle Nachbildung, wird sie als ikonisches, bildhaftes Modell bezeichnet. Als typische Beispiele sind Gipsmodelle, Landkarten oder Planetarien zu nennen.

Erfolgt demgegenüber eine Abbildung rein sprachlich, spricht man von einem Verbalmodell.

Im Vergleich zu den anderen Modellinstrumenten oder Abbildungsweisen wird im formalen Modell die Transfor-

26 HARBORDT, ST.: Computersimulation in den Sozialwissenschaften, a.a.O., S.28

mation der im Untersuchungsbereich interessierenden Informationen in das Modell, die Abbildung also, mittels interpretierbarer Symbole vorgenommen.

Im Hinblick auf ihren Anwendungsbereich lassen sich formale Modelle in mathematische und Computersimulationsmodelle weiter differenzieren. Da Computersimulationsmodelle zum Teil auf mathematischen Modellen basieren, müssen sie einer detaillierteren Betrachtung unterzogen werden. Dies geschieht zielführend im Anschluß an die Begriffsklärung.

2.1.1.3. MODELLGEGENSTAND

Versucht man in Abhängigkeit vom Modellgegenstand eine Klassifikation, erfolgt zunächst die schon klassisch zu nennende Einteilung in Mikro- und Makromodelle.

Dabei ergibt sich diese Einteilung nicht aus der Beantwortung der Frage, wieviele Objekte im Modell betrachtet bzw. abgebildet worden sind. Zielführend erweist sich vielmehr das Kriterium der Betrachtungsebene.

Modelle, die nur ein Objekt beschreiben, das aus vielen einzelnen Objekten als Aggregat zusammengesetzt ist, werden als Makromodelle bezeichnet. Typisches, allerdings ökonomisches Beispiel für ein Makromodell ist die volkswirtschaftliche Gesamtrechnung oder das noch später zu erläuternde von Meadows u.a. entwickelte Weltmodell (vgl. Kapitel I.3.1.1.).

Interessieren demgegenüber nur die einzelnen, nicht zusammengefaßten Objekte, handelt es sich um Mikromodelle. Diesem Modelltyp entsprechen z.B. Warteschlan-

genmodelle, die im Rahmen der Operations Research in der Betriebswirtschaftslehre häufig Anwendung finden, oder z.B. das von der Gesellschaft für Datenverarbeitung und Mathematik (GMD) zur Abschätzung der Auswirkungen von Änderungen des Bundesausbildungsförderungsgesetzes (BAföG) auf Personen und Familien entwickelte BAFPLAN-Modell.

Einer Klassifikation nach dem Kriterium der Betrachtungsebene oder der Vorgehensweise²⁷ erfolgt auf der Basis des Verständnisses von Mikro- bzw. Makroanalyse. Dabei wird traditionell unter Mikroanalyse in Übertragung der naturwissenschaftlichen Bedeutung die Untersuchung der kleinsten Einheit oder des nicht mehr zu disaggregierenden Objektes verstanden. Dementsprechend wird die Makroanalyse als ihr Gegenteil bezeichnet.

Da aber der Tatsache Rechnung getragen werden muß, daß die Adaption einer genuin aus den Naturwissenschaften stammenden Begriffsunterscheidung in die Sozialwissenschaften nicht nur in dem zuvor ausgeführten Sinne stattgefunden hat, soll die 'andere' Sichtweise kurz skizziert werden.

Im Verweis auf Orcutt definiert Harbordt wie folgt:

"Der Ausdruck <mikroanalytisch> besagt also, daß das System in Elemente (wie Individuen, Haushalte, Stadtzonen) zerlegt wird, auf die sich die Modellvariablen beziehen, so daß Prozesse auf der Ebene der Elemente dargestellt werden können;....In diesem Zusammenhang ist hervorzuheben, daß mit der Mikroanalyse keine bestimmte Stufe der Disaggregation verbunden ist. Das Verhältnis von Element und System ist relativ: Jedes Element kann als System aufgefaßt und seinerseits in Elemente aufgegliedert werden. Es

27 HARBORDT, ST.: Computersimulation in den Sozialwissenschaften, a.a.O., S.33

kommt ganz auf die Zweckmäßigkeit der Betrachtung an."²⁸

Hintergrund dieser Sichtweise bildet die schon 1967 von Renate Mayntz konstatierte Beobachtung, "daß eine zunehmende Neigung zur modellhaften Erfassung der Wirklichkeit als System besteht"²⁹.

Da jedoch eine ausführliche Diskussion der Vor- und Nachteile einer jeden Sichtweise an dieser Stelle, ohne noch einmal vertiefend auf die Systemtheorie einzugehen, zu weit führt, belassen wir es bei diesem Verweis, betonen zugleich, daß wir von einer systemtheoretisch orientierten Interpretation der Mikro-Makro-Dichotomie ausgehen und schließen uns somit folgender Aussage von Harbordt an:

"Die Mikro-Makro-Dichotomie bezieht sich hier auf die Vorgehensweise, nicht auf den Gegenstand der Analyse."³⁰

2.2.2.4. MODELLRELATIONEN

a) Lineare und Nichtlineare Modelle

Das Klassifikationskriterium der Modellrelationen rekurriert auf die Beziehungen zwischen den Variablen des Modells bzw. auf das zwischen ihnen aufgespannte Netzwerk an Relationen.

28 HARBORDT, ST.: Computersimulation in den Sozialwissenschaften, a.a.O., S.33

29 MAYNTZ, R. (Hrsg.): Formalisierte Modelle in..., a.a.O., S.22

30 HARBORDT, ST.: Computersimulation in den Sozialwissenschaften, a.a.O., S.33

Genügen bei einer Untersuchung die Relationen dem Linearitätskriterium³¹, impliziert also eine Veränderung der einen Variablen immer eine entsprechend gleichförmige oder gleichmäßige Veränderung der anderen, unterscheidet man lineare und nichtlineare Modelle.

Einige Autoren beschränken sich bei ihrer Einteilung nicht nur auf diesen Aspekt der Modellrelationen, den z.B. Zwicker als Methode der Implikationerschließung bezeichnet, sondern verweisen darüber hinaus darauf, "daß beide Modellformen sowohl verschiedene Methoden der Hypothesengewinnung durch statistische Schätzungen ... verlangen"³².

Eine weitere Unterscheidung bzgl. der Hypothesengewinnung bzw. -generierung unter Berücksichtigung aller möglichen statistischen Schätzverfahren würde in Anbetracht der Tatsache, als Konsequenz eine Auseinandersetzung mit den Problemen der Modellkonstruktion führen zu müssen, an dieser Stelle zu weit führen.

b) Deterministische und Indeterministische Modelle

Darüber hinaus gibt es bzgl. der Modellrelationen noch die Differenzierung in deterministische und indeterministische bzw. stochastische Modelle. Hier werden die Relationen zwischen den Modellvariablen auf ihre Eindeutigkeit überprüft.

31 Vgl. MESCHKOWSKI, H.: Mathematisches Begriffswörterbuch, Stichwort <Lineares Funktional>, a.a.O., S.164

32 ZWICKER, E.: Simulation und Analyse dynamischer Systeme in den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, Berlin - New York 1981, S.164

"Bei deterministischen Modellen sind die Beziehungen zwischen den Variablen eindeutig festgelegt, d.h. bei gegebenen Werten der unabhängigen Variablen kann die abhängige Variable jeweils nur einen einzigen Wert annehmen. Jeder Modellzustand ist damit eindeutig aus dem vorangehenden Zustand ableitbar. Wird der Ablauf eines deterministischen Modells mit identischen Eingabewerten wiederholt, so führt er zu identischen Ergebnissen."³³

Im Gegensatz dazu erhält man unter Anwendung von indeterministischen oder stochastischen Modellen bei Wiederholungen des Modellablaufs mit identischen Eingabewerten variierende Resultate. Immer wenn in einem Modell zumindest eine Variable, deren Werte zufallsabhängig streuen oder expliziter: "die Werte aus einem bestimmten Intervall, aus einer Menge von Werten annehmen kann, wobei jedem Wert eine Auftretenswahrscheinlichkeit zugeordnet ist"³⁴, existiert, ergibt sich dieser "Ergebniskorridor".

Der fundamentale Unterschied zwischen den beiden skizzierten Modellvarianten leitet sich aus den inkompatiblen Sichtweisen der Welt ab.

In deterministischen Modellen geht man davon aus, daß die abzubildende Relation als Teil der Welt vollständig bestimmbar bzw. erklärbar ist. Deterministische Modelle basieren also auf sicheren "Wenn-Dann-Aussagen".

33 HARBORDT, ST.: Computersimulation in den Sozialwissenschaften, a.a.O., S.22f

Vgl. EMSHOFF, J.R./SISSON, R.L.: Simulation mit dem Computer, München 1972, S.31, S.202f

34 Vgl. CHRIST, C.F.: Econometric models and methods, New York, London, Sydney: Wiley, S.122 zit. in: Harbordt, St.: Computersimulation in den Sozialwissenschaften, a.a.O., S.23

Dies wird jedoch in stochastischen Modellen unter Hinweis auf die Einflußnahme von Zufällen auf die Realität (Welt) negiert. Es wird daher gefordert, dem Zufall Rechnung zu tragen.

c) Rekursive und interdependente Modelle

Der Unterschied zwischen einem rekursiven und einem interdependenten Modell läßt sich anhand eines volkswirtschaftlichen Modellbeispiels veranschaulichen:

Dieses Modell³⁵ besteht in seiner einfachsten Form aus drei Variablen: Volkseinkommen (Y), Konsum (C) und Investition (I).

Für beide interessierenden Modelltypen werden folgende Gleichungssysteme angegeben:

Interdependentes Modell

$$Y_t = C_t + I_t$$

$$C_t = f(Y_t)$$

$$I_t = h(Y_{t-1})$$

Rekursives Modell

$$Y_t = C_t + I_t$$

$$C_t = g(Y_{t-1})$$

$$I_t = h(Y_{t-1})$$

Die Gleichungssysteme zeigen, daß im interdependenten Modell die Lösung aller Modellgleichungen nur simultan erfolgen kann, wohingegen im rekursiven Modell eine Gleichung nach der anderen bestimmt werden muß; im rekursiven Modell die Beziehung zwischen Y und C in jeder Zeitperiode einseitig, im interdependenten Modell dagegen wechselseitig.

35 Vgl. MENGES, G.: Ökonometrie, Wiesbaden 1961, S.52f

Faßt man diese Ergebnisse allgemeiner, kommt man zu folgender Unterscheidung:

"Ein Modell wird «rekursiv» genannt, wenn es so aufgebaut ist, daß die endogenen Variablen eine nach der anderen berechnet werden können und dazu jeweils nur die Werte von exogenen Variablen, bereits zuvor berechneten endogenen Variablen oder von verzögerten Variablen erforderlich sind. Gelegentlich spricht man von einem «hierarchischen» Aufbau. Er erlaubt also eine Berechnungsreihenfolge, bei der die benötigten Werte der jeweils unabhängigen Variablen stets schon vorliegen."³⁶

Dagegen bezeichnet man eine Modell als interdependent, wenn die Relationen zwischen den Variablen nicht nur in einer Richtung verlaufen, sondern wenn auch Wechselbeziehungen und Rückkoppelungen vorkommen.

d) Stochastische und probabilistische Modelle

Wenn in einem Modell der Zufallseinfluß berücksichtigt werden soll, muß darauf hingewiesen werden, daß dies in Abhängigkeit von dem zugrundeliegenden Verständnis von Zufall auf verschiedene Arten geschehen kann.

So kann zum einen der Zufall als Subsummierung aller bislang nicht bekannten Einflußgrößen oder als Meßfehler aufgefaßt werden, was sich darin ausdrückt, daß eine deterministische Modellbeziehung, eine Gleichung, um eine Zufalls- oder stochastische Variable (Störgröße) erweitert wird. Dabei erfolgt die Aufnahme der Zufallsvariablen durch die Angabe des Mittelwertes, der Varianz und der Form der Wahrscheinlichkeitsverteilung. Dadurch wird die abhängige Variable selbst

36 HARBORDT, ST.: Computersimulation in den Sozialwissenschaften, a.a.O., S.100

zu einer stochastischen, so daß sich bei Wiederholungen des Modellablaufs mit identischen Eingabewerten variierende Ergebnisse einstellen;

"... ihre Werte liegen in einem auf diese Weise definierten Intervall, das aber bei weiteren Rechnungen mit den Werten nicht berücksichtigt, sondern erst zur Bestimmung des Fehlerintervalls des Gesamtergebnisses des Modells herangezogen wird."³⁷

Zum anderen kann ein Weg gewählt werden, der in Unterscheidung zu "stochastischen" zu "probabilistischen" Modellen führt. Hier wird die Zufallsabhängigkeit der Werte mindestens einer Modellvariablen durch eine Wahrscheinlichkeitsverteilung quantifiziert und durch die Verwendung von Zufallszahlen realisiert.

"Die Wahrscheinlichkeitsverteilung gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit die abhängige Variable bestimmte Werte aus einer Wertemenge annimmt; diese Verteilung ist eine Funktion der unabhängigen Variablen."³⁸

Zusammenfassend kann also festgehalten werden, daß die unterschiedliche Art der Berücksichtigung des Zufallseinflusses oder des Meßfehlers das entscheidende Differenzierungskriterium zwischen stochastischen und probabilistischen Modellen ist. Allerdings muß zugleich betont werden, daß die hier vorgestellte Unterscheidung in der sozialwissenschaftlichen Literatur zwar erwähnt wird, aber dennoch werden probabilistische unter stochastischen Modellen subsummiert, so daß indeterministische mit stochastischen Modellen gleichgesetzt werden.

37 HARBORDT, ST.: Computersimulation in den Sozialwissenschaften, a.a.O., S.25
38 Ebenda, S.24

2.1.1.5. MODELLVERHALTEN

a) Statische und Prozeßmodelle

Eine Überprüfung der in der Wirklichkeit vorfindbaren Modelle darauf, ob die in ihnen symbolisierten Ereignisse oder abgebildeten Zustände durch einen Zeitindex gekennzeichnet sind, führt zu einer Einteilung in statische und Prozeßmodelle.

Dieser Klassifikationsversuch kann an dieser Stelle fortgeführt bzw. spezifiziert werden, indem Prozeßmodelle sowohl in dynamische und kinetische³⁹ als auch zeitkontinuierliche und zeitdiskrete Modelle untergliedert werden.

b) Dynamische und Kinetische Modelle

Dynamische Modelle unterscheiden sich von kinetischen bzw. historischen dadurch, daß in ihnen "zumindest eine zeitinvariante Verknüpfung zweier zeitlich gegeneinander verzögerter Ereignisse"⁴⁰ festzustellen ist. Angesichts der Tatsache, daß in der Literatur diese Modelleinteilung relativ selten vorgenommen wird, sie sich also nicht durchgesetzt hat, kann meiner Meinung nach diese Differenzierung als weitgehend akademisch aufgefaßt werden. Aus dieser Sichtweise können Prozeß- und dynamische Modelle gleichgesetzt werden bzw. sind einander Synonyme.

³⁹ ZWICKER, E.: Simulation und Analyse ..., a.a.O., S.23

⁴⁰ Ebenda

c) Zeitkontinuierliche und Zeitdiskrete Modelle

Untersucht man dynamische Modelle nach den in ihnen verwandten Zeitmaßstäben, muß man zeitkontinuierliche und zeitdiskrete Modelle unterscheiden. In einem zeitkontinuierlichen Modell kann "zu jedem beliebigen Zeitpunkt auf der Zeitachse ein Zahlenwert für die zu bestimmenden metrischen Größe ermittelt werden"⁴¹.

Demgegenüber wird bei Anwendung zeitdiskreter Modelle unterstellt, "daß die Werte der betrachteten Größen nur zu bestimmten Zeitpunkten bestimmt werden"⁴². Im diesem Kontext wird in der Literatur vielfach darauf hingewiesen, daß jedes zeitkontinuierliche auch als zeitdiskretes Modell repräsentiert werden kann.

2.1.1.6. MODELLKONSTRUKTIONSANSATZ

a) Konzept- oder Datenbasierte Modelle

Ein weiteres Klassifikationsmerkmal ergibt sich aus Einordnung nach der Stellung im Erkenntnisprozeß in konzept- oder datenbasierte Modelle.

"Der datenbasierte Ansatz entspricht einer empiristischen Einstellung."⁴³

In einem ersten Schritt wird in Abhängigkeit zum vorliegenden Problem durch 'brainstorming' bzw. Nachden-

41 ZWICKER, E.: Simulation und Analyse ..., a.a.O., S.27

42 Ebenda, S.28f

43 HARBORDT, ST.: Computersimulation in den Sozialwissenschaften, S.71

Vgl. EMSHOFF, J.R./SISSON, R.L.: Simulation mit dem Computer, München 1972, S.30f

ken versucht, die den Modellgegenstand möglichst umfassend beschreibenden Variablen zu benennen. Nach ihrer Operationalisierung, erfolgt die Datenbeschaffung. Die daran anschließende statistische Analyse dient im Hinblick auf die Konstruktion der Modellstruktur zur Klärung der Relationen zwischen den Variablen. Über den ständigen Wechsel zwischen der Datenanalyse und der Modellkonstruktion, erfolgt sukzessive der Modell-
aufbau.

Demgegenüber beginnt man im konzeptbasierten Ansatz bei der Modellbildung nicht mit der Sammlung und der statistischen Auswertung von quantitativen Daten. Vielmehr wird das Modell aus der Vorstellung über seinen Gegenstand konzipiert. Die Entwicklung des Konzeptes und damit der Struktur des Modells wird auf persönliche Erfahrung, Intuition, Beobachtungen und Interviews mit Experten gestützt. Forrester, der diese Methode eingeführt hat, lehnt den datenbasierten Ansatz ab.

"Gegen die statistische Ableitung eines Modells aus Zeitreihen wendet er sich, weil er es für höchst unwahrscheinlich hält, daß die <kausalen> Mechanismen eines komplexen Systems aus einer Folge von externen Beobachtungen erschlossen werden können. Datensammlern werfe kein neues Licht auf die Natur der Variablen. Die für das Modell erforderlichen Informationen seien zu 98 v.H. aus praktischen Erfahrungen und Kenntnissen zu erlangen; nur für die restlichen zwei Prozent benötige man quantitative statistische Daten. Nicht an Information fehle es also, sondern an der Fähigkeit, sie zu strukturieren. Sei die Struktur des Modells bestimmt, so sei die genaue Ermittlung der Parameterwerte bis auf wenige Ausnahmen zweitrangig.

Diese kritischen Parameter ließen sich durch Sensitivitätsanalysen feststellen und könnten dann aufgrund gezielt beschaffter Daten geschätzt werden."⁴⁴

2.1.1.7. MODELLGÜLTIGKEIT

Ein letztes Klassifikationskriterium bildet die Modellgültigkeit, d.h. man kann die in der Realität vorfindbaren Modelle untersuchen, inwieweit sie valide sind. Diese Untersuchung erfährt ihre Bedeutung im Zusammenhang mit der Anwendung eines Modells, d.h. die Anwendung eines Modells ist erst dann sinnvoll, wenn sich ein Modell als valide gezeigt hat. Von dieser Vorstellung bzw. Einschätzung kann aber abstrahiert werden, wenn das Modell heuristisch verwendet wird. Im Hinblick auf die übrigen Anwendungsfälle des Modells stellt sich zunächst die Aufgabe, zu klären, was unter Gültigkeit oder Validität eines Modells zu verstehen ist, oder, welchen Anforderungen ein Modell genügen muß, um als 'brauchbar' eingestuft zu werden.

"Im Grunde ist das Validitätsproblem ... weitgehend auf die Güte (mehr oder weniger großen Bestätigungsgrade) der der Modellbildung zugrundeliegenden Theorien zurückzuführen."⁴⁵

44 HARBORDT, ST.: Computersimulation in den Sozialwissenschaften, a.a.O., S.74f

Vgl. BERICHT EINER ARBEITSGRUPPE AM INSTITUT FÜR SOZIOLOGIE DER TU-BERLIN: Vorstudien zur sozialwissenschaftlichen Computersimulation: Qualifikationsstruktur und Schichtung, in: Klages, H. (Hrsg.): Werkstattpapiere, Zur Analyse und Planung gesellschaftlicher Veränderungen, Meisenheim am Glan 1972, S.4-9

45 BÖHRET, C./WORDELMANN, P.: Das Planspiel als Methode der Fortbildung, Bonn 1975, S.32

Damit wird das Validitätsproblem lediglich verschoben, denn nun gilt es, die Güte bzw. die Gültigkeit einer Theorie zu untersuchen, was wissenschaftstheoretisch umstritten ist. Da aber an dieser Stelle keine wissenschaftstheoretische Diskussion über die Frage, wann und ob eine Theorie valide sein kann, geführt werden soll, wird einem anderen Ausgangspunkt zur Prüfung der Modellgültigkeit der Vorzug gegeben.

So kann man die Modellvalidität in Unterscheidung ihrer Dimensionen, der Reliabilität, der empirischen und der Anwendungsgültigkeit bzw. der "pragmatischen Gültigkeit"⁴⁶, untersuchen.

Geht man davon aus, daß diese Dimensionen der Validität graduell ausgeprägt zu verstehen sind, handelt es sich also nicht um ein "Entweder-Oder, sondern um ein Mehr oder Weniger an Gültigkeit"⁴⁷.

Damit ergibt sich zum einen ein Meßproblem (wie kann der Grad der Validität gemessen werden?) und zum anderen die Frage, in welchen Grenzen ein Modell als valide bezeichnet werden kann. Diese Fragen müssen in der jeweiligen Validitätsuntersuchung beantwortet werden. Deswegen kann bei einer grob skizzierenden, dem Überblick dienenden Vorstellung der Dimensionen der Validität bzw. ihrer Prüfung auf eine entsprechende Beantwortung dieser Fragen zunächst verzichtet werden. Zugunsten des intendierten Überblickes wird darüber

46 HARBORDT, ST.: Computersimulation in den Sozialwissenschaften, a.a.O., S.157

47 Ebenda, S.159

hinaus an dieser Stelle von einer Darstellung der entsprechenden statistischen Prüfverfahren⁴⁸ abgesehen, zumal in einem späteren Teil dieser Arbeit darauf eingegangen wird.

a) Reliabilität des Modells

Im Rahmen der Reliabilität wird die Zuverlässigkeit eines Modells überprüft, d.h. es wird geprüft, inwiefern und ob ein Modell die Daten reproduzieren kann, aus denen es gewonnen wurde.

Basiert das Modell z.B. auf Zeitreihendaten, so muß ein zuverlässiges Modell diese Daten in bestimmten, vorgegebenen Grenzen wieder generieren können. Hier wird also die Modellvalidität über weitgehend zutreffende Retrognosen geprüft. Damit beschränkt sich eine Überprüfung der Zuverlässigkeit ausschließlich auf Modelle über Realsysteme.

b) Empirische Validität

Die zweite Dimension der Validität, die empirische Gültigkeit, geht über das Kriterium der Zuverlässigkeit hinaus, indem sie zusätzlich die "Ähnlichkeit" zwischen Modell und Gegenstandsbereich bzw. Objekt sowohl im Verhalten als auch in der Struktur betrachtet, ist aber wiederum auf Modelle von Realsystemen eingegrenzt.

48 Eine ausführliche Darstellung der statistischen Prüfverfahren findet sich z.B. bei HARBORDT, ST.: Computersimulation in den Sozialwissenschaften, a.a.O., S.189-206

b1) Modellstrukturvalidität

Im Rahmen der Strukturvaliditätsprüfung versucht man den Nachweis der Übereinstimmung von Modell- und Objektstrukturen und zwar sowohl unter dem Gesichtspunkt der Entsprechung als auch darauf, ob im Modell gerade die für das Objekt entscheidenden Beziehungen erfaßt wurden. Hiermit wird ein besonderes Problem der Modellbildung angesprochen.

Davon ausgehend, daß die Modellbildung notwendigerweise immer auch Reduktion der Komplexität bedeutet, stellt sich die Frage, inwieweit das "Wesentliche" erfaßt wird bzw. erfaßt werden kann.⁴⁹ In der Literatur wird zwar durchgehend die Überprüfung der Struktur gefordert und auf die damit verbundene Problematik hingewiesen, dennoch belegen gerade Äußerungen jüngeren Datums, wie umstritten die Möglichkeiten einer Strukturprüfung eingeschätzt werden.

Dabei bezieht man sich darauf, daß eine Überprüfung der Modellstruktur notwendigerweise die Kenntnis der Realstruktur voraussetzt, was aber unter wissenschaftstheoretischen Gesichtspunkten als nicht möglich erachtet wird.⁵⁰

Angesichts der Tatsache, daß zum einen hier nur ein Überblick über die verschiedenen Gültigkeitsdimensionen gegeben werden soll und zum anderen, daß eine Strukturvaliditätsprüfung meist nur indirekt, d.h. über die Prüfung der Verhaltensvalidität, erfolgt, er-

49 Vgl. BAUMANN, R.: Computereinsatz in Sozialkunde, Geographie und Ökologie, Stuttgart 1986, S.124

50 Vgl. WAGNER, G.: Mikrosimulation - ein neues Instrument für sozialökonomische Analysen, in: Angewandte Informatik 1982, Heft 10, Fußnote 4, S.517
Vgl. SCHMIDT, B.: Informatik und allgemeine Modelltheorie, in: Angewandte Informatik 1982, Heft 1

scheint eine Aufnahme oder Weiterführung der wissenschaftstheoretischen Diskussion an dieser Stelle nicht zielführend.

b2) Modellverhaltensvalidität

Ausgehend von dem Gedanken, daß ein Modell dann valide ist, wenn es sich so wie das Objektsystem verhält, erfolgt der Vergleich der beiden Outputs miteinander. Das Vorgehen veranschaulicht folgendes Schema:

$$\begin{array}{rcl} I_O + S_O - O_O & \searrow & \\ I_M + S_M - O_M & \nearrow & O_M \approx O_O ? \end{array}$$

Der Input des Objektsystems (I_O) geht als Input (I_M) in das Modell ein. Daran anschließend erfolgt der Outputvergleich, wobei entweder ein Objektoutputwert der Vergangenheit oder aber einer der Zukunft gewählt werden kann. Demzufolge zielt dieser Modelltest auf die Wiedergabe von vergangenem Systemverhalten oder auf die Voraussage von zukünftigem.⁵¹

Unabhängig davon, wird in vielen Fällen bei Verhaltensähnlichkeit ($O_M \approx O_O$) auf eine Homomorphie oder eine Strukturähnlichkeit zwischen Modell und Objekt geschlossen, was aber, wie bereits erwähnt, nicht notwendigerweise der Fall sein muß. So ist es z.B. vorstellbar, mit verschiedenen Strukturen das gleiche Verhalten (Modelloutput) zu generieren.

⁵¹ Harbordt unterscheidet z.B. daraufhin vier Fälle des Outputvergleichs: die dynamische Ex-post-Projektion, die statische Ex-post-Projektion, die dynamische Ex-ante-Projektion und die statische Ex-ante-Projektion. Vgl. HARBORDT, ST.: Computersimulation in den Sozialwissenschaften, a.a.O., S.162

Im Rahmen dieser Modellüberprüfung, kann als Ergebnis lediglich festgehalten werden, ob die Modellstruktur zur Klasse jener Strukturen gehört, die ein dem Objektverhalten entsprechendes Modellverhalten erzeugen können.

c) Anwendungsvalidität

Die dritte Dimension der Gültigkeit, die Anwendungsvalidität, untersucht, inwieweit das Modell dem Ziel oder Zweck der Modellbildung entspricht. Dies erfordert den Nachweis, daß das Modell die Art von Informationen generieren kann, die man von ihm erwartet.⁵²

Gerade hier zeigt sich zum einen der Unterschied zur empirischen Gültigkeit deutlich. So ist es vorstellbar, daß ein empirisch valides Modell pragmatisch bzw. in Hinblick auf das Modellziel ungültig ist. Dazu folgendes Beispiel: Ein Modell, das die Industrie eines Gebietes zutreffend abbildet, erlaubt im Hinblick auf die Umweltverschmutzung bzw. -belastung durch die Industrie keine Aussagen.

Zum anderen führt eine Beantwortung der Frage, ob und inwieweit ein Modell pragmatisch gültig ist, zu Plausibilitätsüberlegungen, die überwiegend vom subjektiven Ermessen geprägt sind.

Wie schon erwähnt, bietet ausschließlich ein Modell eines Realsystems die Möglichkeit zur Überprüfung unter Reliabilitätsgesichtspunkten, der empirischen und pragmatischen Gültigkeit. Demgegenüber kann ein Modell über einen hypothetischen Gegenstandsbereich bzw. über

52 BOSSEL, H.: Systemdynamik. Grundwissen, Methoden und BASIC-Programme zur Simulation dynamischer Systeme, Braunschweig 1987, S.14

ein gedachtes Objekt nur im Hinblick auf seine Anwendungsvalidität überprüft werden, was dazu führt, daß solche Modelle als besonders angreifbar intensiv der Kritik ausgesetzt sind und vielfach als per se ungültig eingestuft werden.

Nachdem der Modellbegriff und einige der in der Literatur vorfindbaren Klassifikationsversuche erarbeitet wurde, gilt im Folgenden unter ähnlichen Gesichtspunkten das Interesse dem anderen Hauptbegriff der CS, der Simulation.

2.2. ZUM BEGRIFF DER SIMULATION

In der Literatur stellt sich im Hinblick auf eine Definition dieses Grundbegriffes die gleiche Situation wie beim Modellbegriff.

Sieht man von der umgangssprachlichen Bedeutung des Wortes Simulation als einer Verstellung und Vortäuschung, z.B. von Krankheiten, einmal ab, findet sich in der Literatur eine Fülle von weiteren Definitionsversuchen, die vor allem den "neueren" Aspekten der Simulation, wie z.B. der Nachahmung von Vorgängen in sozialen oder technischen Systemen, gerecht werden wollen.

Die nachfolgenden Beispiele sollen die Umstrittenheit des Begriffs "Simulation" verdeutlichen:

"Eine Simulation ist ein Modell einer bestimmten Situation, in dem die Situationselemente durch arithmetische und logische Prozesse dargestellt werden, die zur Voraussage der dynamischen Eigenschaften der Situation auf einem Rechenautomaten ausgeführt werden können."¹

"Unter Simulation eines Systems versteht man die Durchführung von Versuchen mit einem Modell dieses Systems."²

"Simulation ist das Nachbilden eines realen Prozesses mit künstlichen Mitteln. Sie besteht darin, daß ein Stück Wirklichkeit zunächst so getreu wie möglich in einem Modell dargestellt wird und daß dieses dann

1 EMSHOFF, J.R./SISSON, R.L.: Simulation mit dem Computer, München 1972, S.25

2 BAUMANN, R.: Computereinsatz in Sozialkunde, Geographie und Ökologie, Stuttgart 1987, S.131

experimentell auf seine Eigenschaften hin untersucht wird."³

"Per Simulation wird in den Sozialwissenschaften ein Stück sozialer Wirklichkeit nachgeahmt mit dem Ziel, eine noch nicht oder nur latent vorhandene Wirklichkeit sichtbar zu machen."⁴

"Die weiteste begriffliche Auslegung versteht unter Simulation die an einer Zielfunktion ausgerichtete sukzessive Variation eines dynamischen Modells... In dieser Deutung erweist sich die Simulation als der Vorgang einer normativ ausgerichteten Modifizierung eines dynamischen Modells."⁵

"...versteht unter Simulation die Ermittlung des Zeitpfades einer oder mehrerer endogener Variablen eines parametrisch-singulären Modells. Simulation wird in diesem Fall als der Rechenablauf zur Bestimmung der singulären Implikation in Form des Zeitverlaufes bestimmter endogener Variablen aufgefaßt."⁶

"Simulation involves the setting up of an analogue of the system under study, in which all relevant components are defined, and the way in which they change through time and affect each other are exactly specified. This analogue is then set in motion, and its behaviour observed."⁷

"Simulation is simply the dynamic execution or manipulation of a model of an object system for some purpose."⁸

3 KÖCHER, D./MATT, G./OERTEL, C./SCHNEEWEISS, H.: Einführung in die Simulationstechnik, DGOR-Schrift Nr. 5; Frankfurt am Main 1972, S.1

4 KLEIN, TH.: Zum Nutzen der Mikrosimulation in der Sozialstrukturanalyse, Symposiumsvortrag/Arbeitspapier, Nürnberg 1988

5 ZWICKER, E.: Simulation und Analyse ..., a.a.O., S.102

6 Ebenda

7 MITCHELL, G.H.: Operational Research: Techniques and Examples, London 1972, S.202

8 BARTON, R.F.: A Primer on Simulation and Gaming, Englewood Cliffs - New Jersey, 1970, S.6

"Simulation eines Systems ist die Arbeit mit einem Modell, welches das wirkliche System abbildet. Das Modell kann in einer Weise manipuliert werden, die bei dem wirklichen System unmöglich, zu gefährlich oder zu teuer wäre. Das Verhalten des Simulationsmodells kann studiert, und daraus können Schlüsse auf das Verhalten des wirklichen Systems gezogen werden."⁹

"Unter Simulation soll die Methode der Beobachtung und Analyse von Entwicklungen variierender Inputs (Systemzustände) innerhalb dynamischer Modelle (Simulationsmodelle) verstanden werden."¹⁰

Aus der Fülle der Definitionsversuche, wie auch aus den vorgestellten zu entnehmen, gehen folgende Schwerpunkte der Definitionen hervor:

- Simulation als Nachbildung dynamischer Prozesse, von Abläufen oder des Verhaltens von Systemen;
- die zu simulierenden Systeme können real existierend oder auch hypothetisch sein;
- ein Rechenautomat oder ein Computer ist ein Instrument der Simulation (Digitalrechner - digitale Simulation; Analogrechner - analoge Simulation);
- die Simulation dient dem Durchführen von Experimenten, von Analysen und Beobachtungen;
- Ziel der Simulation ist die Gewinnung von Information über die Eigenschaften eines

9 MERTENS, P.: Simulation, Stuttgart 1969, S.7, Zit. bei Böhret, C./Wordelmann, P.: Das Planspiel als Methode der Fortbildung, Bonn 1975, S.20

10 BÖHRET, C./WORDELMANN, P.: Das Planspiel als Methode der Fortbildung, a.a.O., S.22

untersuchten Systems (Beschreibung), deren Prognose, Erkenntniserweiterung bzgl. des Modellverhaltens, bzgl. der Gesetzmäßigkeiten des Systems (Erklärung) und das Studium des Originals am Modell.

Sieht man von den Modellzielen, den Anwendungsmöglichkeiten des Modells und seinem Gegenstand einmal ab, stellen sich die nachahmende Methode und die dynamische Betrachtungsweise als herausragende Kennzeichen bzw. Möglichkeiten der Simulation dar.

Durch die Erfassung der Simulation als eine nachahmende Methode wird die umgangssprachliche Auffassung des Simulationsbegriffs, das Vortäuschen bzw. das Nachahmen, involviert. Wird Simulation als eine solche Methode aufgefaßt, stellt sich die Frage, welcher Untersuchungsgegenstand wie nachgeahmt werden soll. Daraus ergibt sich die Voraussetzung der variationsfähigen Untersuchungsanordnung im Modell, auf das die Simulation angewendet wird.

"Der Schwerpunkt der Simulation liegt also eindeutig in der methodischen Anordnung und Vorgehensweise einschließlich der Auswertung der Ergebnisse."¹¹

Dadurch ist es möglich, Prozesse und Ergebnisse in Modellen von interessierenden Systemen unter variierenden Anordnungen zu beobachten und zu untersuchen. Dabei kann dieser Vorgang beliebig oft wiederholt bzw. verändert werden. Diese Tatsache gewinnt unter dem Gesichtspunkt des "heuristischen" Vorgehens zur Hypothesengenerierung besondere Bedeutung.

Der zweite Kennzeichen der Simulation stellt auf die Möglichkeit der Einbeziehung von dynamischen Modellen,

¹¹ BÖHRET, C./WORDELMANN, P.: Das Planspiel als Methode der Fortbildung, a.a.O., S.20

die gerade durch die Involvierung des Zeitablaufs charakterisiert sind, ab.

Damit kann zusammenfassend als Arbeitsdefinition unter Simulation das Nachahmen eines Prozesses oder der Verhaltensweise eines realen oder hypothetischen Systems verstanden werden. Aus dieser Sichtweise ergibt sich notwendigerweise, daß Simulation als eine so definierte Methode bei ihrer Anwendung die Existenz eines dynamischen Modells immer dann voraussetzt, wenn ein Prozeßverlauf oder eine Verhaltensänderung im Modell betrachtet werden soll. Andernfalls genügt es, ein statisches Simulationsmodell zu konstruieren.

Durch den Hinweis auf das Verhältnis der beiden Grundbegriffe der CS wird zwar die als analytisch bezeichnete Trennung der Grundbegriffe Modell und Simulation wieder aufgehoben, dennoch wird dieses Verhältnis im Rahmen des ersten Teils dieser Arbeit noch einmal ausführlicher aufgegriffen.

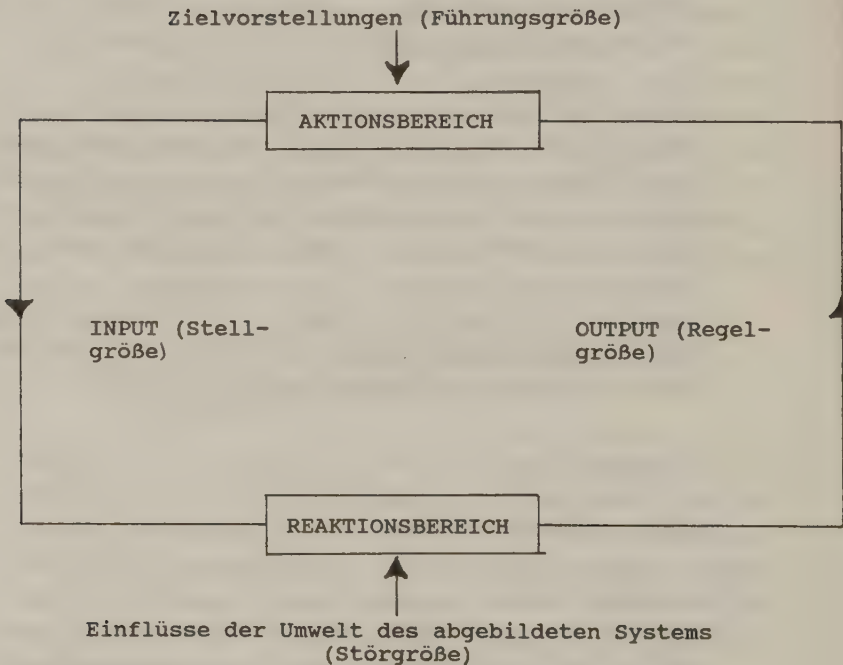
Vorab wird darauf hingewiesen, daß die Ausführungen über den Modellbegriff und die Klassifikationen analog für die Simulationsmodelle gelten.

2.2.1. SIMULATIONSTYPEN

Nachdem die Begriffsklärung geleistet wurde, gilt es die in der Realität vorfindbaren Simulationstypen im Hinblick auf einen Computereinsatz zu beleuchten. Ziel bildet dabei die begriffliche Abgrenzung bzw. die Definition von Computersimulationsmodellen.

In diesem Zusammenhang erscheint die von Böhret und Wordelmann¹² vorgenommene Aufteilung des der Simulation zugrundeliegenden Gesamtmodells in Aktionsbereich und Reaktionsbereich und das von ihnen dazu entwickelte Schaubild (Abb.4) hilfreich.

Abb.4: Ablaufschema einer Simulation, dargestellt in der Form eines einfachen Regelkreises



12 BÖHRET, C./WORDELMANN, P.: Das Planspiel als Methode der Fortbildung, a.a.O., S.22

Durch den Aktionsbereich werden menschliche Einflüsse in das Modell aufgenommen. Demgegenüber zeichnet sich der Reaktionsbereich durch seinen Formalisierungsgrad aus. Die Relation zwischen beiden wird durch die Wahl des Simulationstyps bestimmt.

Wie schon im Rahmen der Modellklassifikation angesprochen, gehören Computersimulationsmodelle zum Bereich oder zur Kategorie der formalen Modelle.

Aus diesem Grund wird bei der Klassifikation der Simulationstypen als Kriterium der Formalisierungsgrad gewählt, was eine Klärung der Frage impliziert, inwieweit in das jeweilige Simulationsmodell menschliches Verhalten involviert wird.

In Übereinstimmung mit der Literatur werden nachfolgend nur die drei geläufigsten Simulationstypen, das Rollen-, das Planspiel und die Computersimulation, beleuchtet.

Da gerade das Planspiel, d.h. das computergestützte Planspiel, vielfach als Computersimulation bezeichnet wird, wird es im Hinblick auf eine eindeutige Abgrenzung zur reinen Computersimulation oder zur Computersimulation im engeren Sinne im Rahmen der Klassifizierung der Simulationstypen ausführlicher behandelt.

a) Das Rollenspiel: Eine Mensch-Mensch-Simulation

Dieser Simulationstyp zeichnet sich durch seinen geringsten Formalisierungsgrad aus.

Hier ist der Reaktionsbereich auf eine bestimmte Anzahl von Regeln beschränkt, deren Befolgung z.T. von der Spielleitung kontrolliert wird. Der Aktionsbereich umfaßt die Mitspieler, denen die Konzeption dieser Simulation relativ viel, d.h. in Abhängigkeit zum Umfang

der aufgestellten Regeln, Handlungsraum gibt, in dem Spontanität und Kreativität entfalten werden können. Geht man davon aus, daß dadurch besonders der "homo ludens" angesprochen wird, besteht gerade bei diesem Simulationstyp die Gefahr, die "Spielerei" zu über-treiben¹³.

Darüber hinaus impliziert die Einbeziehung der menschlichen Kreativität und Spontanität eine Einschränkung der Vergleichbarkeit von Simulationsläufen.

b) Planspiel: Die Mensch-Maschine-Simulation

Einen im Vergleich zum Rollenspiel höheren Formalisierungsgrad kennzeichnet die Mensch-Maschine-Simulation, auch Planspiel ("gaming simulation") genannt. Vorgänger dieses Simulationstyps waren die taktischen und strategischen Planspiele des Militärs.¹⁴ Diese Methode wurde sukzessive auf andere Bereiche übertragen, zunächst jedoch auf die Ökonomie.

Mit der Verbreitung und Durchsetzung spiel- und entscheidungstheoretischer Lehren in den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften wurden vor allem in Amerika in den fünfziger und sechziger Jahren viele ökonomische Planspiele entwickelt: In Spezialplanspielen wurden die Modelle auf bestimmte Unternehmensverhältnisse zu-

13 BÖHRET, C./WORDELMANN, P.: Das Planspiel als Methode der Fortbildung, a.a.O., S.31

14 "Das bekannteste und historisch berühmt gewordene Beispiel ist das Planspiel des Preußischen Generalstabs. Hier wurden planmäßig und systematisch Kriegszüge und Schlachten en miniature und in allen Folgenwirkungen durchgespielt, um Möglichkeiten und Grenzen der eigenen Armee und der des Gegeners zu antizipieren." NOWAK, J.: Bausteine einer sozialwissenschaftlichen ..., a.a.O., S.5

geschnitten; Branchenspiele z.B. für Banken und Versicherungen wurden geschaffen; daneben kreierte man Universalspiele, die weder branchen- noch firmenabhängig waren und deshalb das breiteste Einsatzspektrum boten.

Unternehmensplanspiele sind wohl die bekanntesten Planspiele¹⁵. In ihnen wird eine Nachahmung von im Unternehmen stattfindenden Entscheidungsprozessen versucht, in dem eine Anzahl von Personen bestimmte Rollen übernehmen, in denen sie nach bestimmten Regeln Entscheidungen treffen sollen (Aktionsbereich). Um die Auswirkungen dieser Entscheidungen zu ermitteln, wird ein Modell angewendet, das einen Teil der relevanten Umwelt der Spieler darstellt (Reaktionsbereich). Liegt dieses Modell als ein Computerprogramm vor, kann man statt von einem Planspiel auch von einer Mensch-Maschine-Simulation sprechen.

Dies gilt aber nicht nur für Unternehmensplanspiele, sondern für alle bislang entwickelten Planspiele¹⁶. Prinzipiell lassen sich zwei Arten von Planspielen unterscheiden, das konkurrenzfreie und das unter Konkurrenzbedingungen stattfindende Planspiel.

In einem konkurrenzfreien Planspiel wirken sich die Entscheidungen eines Spielers bzw. einer Spielergruppe auf die Entscheidungen eines anderen Spielers bzw. einer anderen Spielgruppe nicht aus. Bei Spielende werden lediglich die unter identischen Voraussetzungen

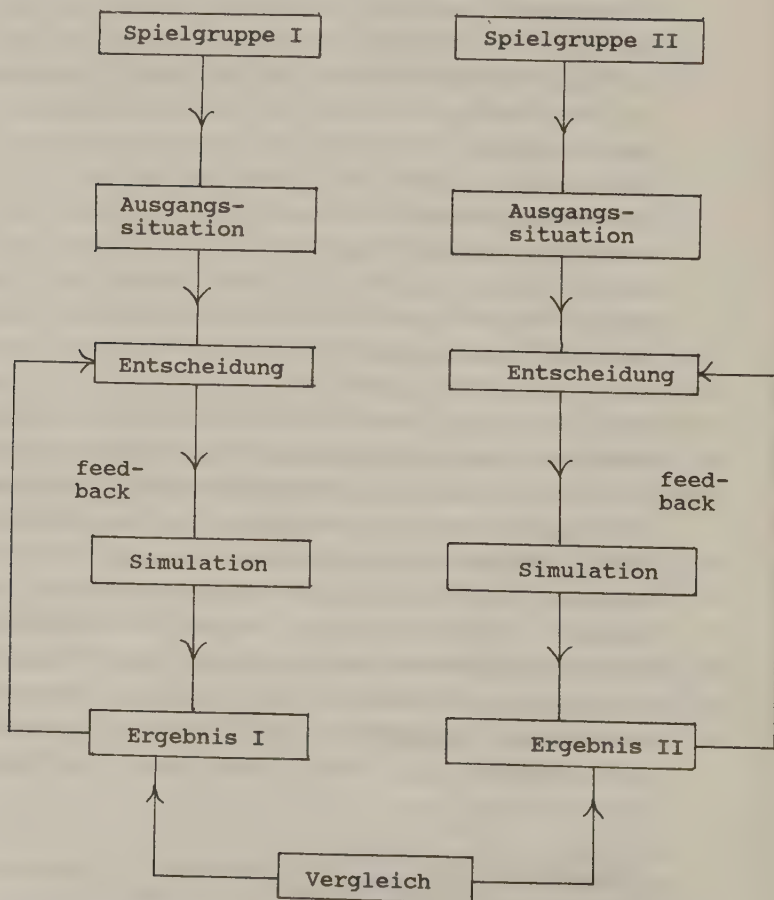
15 Anm.: In der letzten Zeit werden in zunehmendem Maße auch Unterhaltungsplanspiele angeboten.

16 Anm.: Beispiele für Unternehmensplanspiele sind INSIM (Firma NIXDORF), TOPIC (Firma IBM), SU-2 (Firma SIEMENS) usw.

Beispiele für andere Planspiele sind ÖDIPOS, STRUPO, die von Prof. Carl Böhret u.a. entwickelt wurden.

getroffenen Entscheidungen in ihren Ergebnissen verglichen (siehe Abb.5).

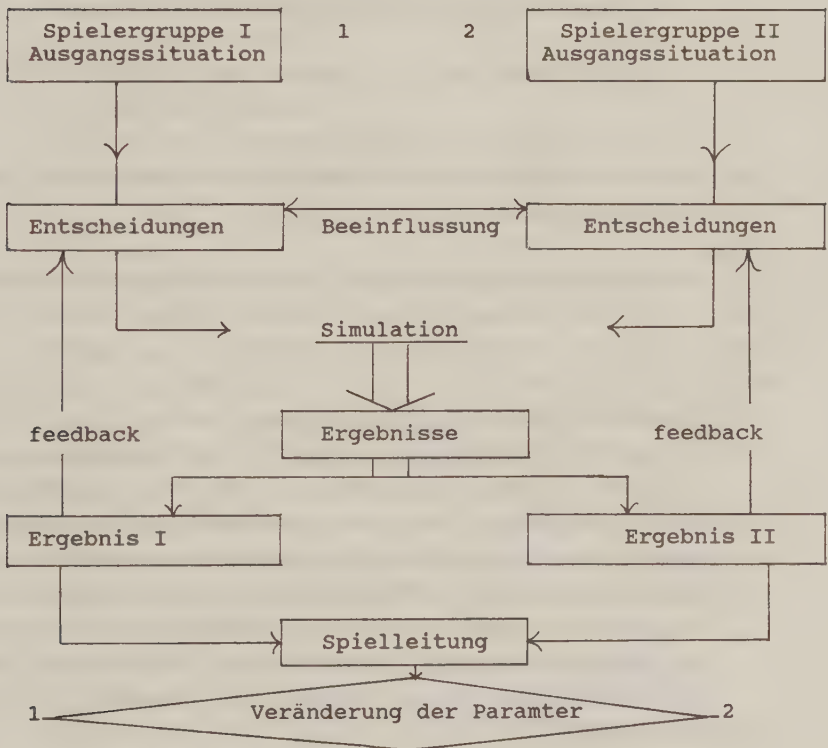
Abb.5: Konkurrenzfreies Planspiel



Quelle: Werneck, T./Grasse, R.: Planspiele, München 1976, S.64, modifiziert

Im Gegensatz dazu wirken im Konkurrenzspiel die Entscheidungen des Spielers oder der Spielergruppe auf die Entscheidungen des anderen Spielers oder der anderen Spielergruppe ein.

Abb.6: Planspiel unter Konkurrenzbedingungen



Quelle: Werneck, T./Grasse, R.: Planspiele, a.a.O., S.68, modifiziert

Aus beiden Schaubildern (Abb.5 und Abb.6) geht eindeutig der diesem Simulationstyp zugrundeliegende fünfphasige (quasi-kybernetische) Regelkreis hervor:

1. Deskription, die die Ausgangssituation und die Formulierung von Entscheidungen umfaßt;
2. die eigentliche Simulation, in der die Verarbeitung der Entscheidungsdaten vorgenommen wird;
3. das Resultat oder die Ausgabe der Ergebnisdaten;
4. die Auswertung, die die Bewertung der Entscheidungen aufgrund des Ergebnisses anhand der Zielvorgaben umfaßt;
5. Rückkoppelung, worunter die Veränderungsmöglichkeiten der Ausgangssituation zu verstehen sind.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß sich in diesem Simulationstyp Aktions- und Reaktionsbereich einander insofern ergänzen, als daß im Aktionsbereich alle im formalen Modell nur problematisch zu erfassen den bzw. operationalisierbaren Beziehungen und Verhaltensweisen und im Reaktionsbereich alle vom Aktionsbereich nicht repräsentierbaren Strukturen und Funktionen einbezogen werden. Unter diesem Gesichtspunkt können Planspiele eine Vorstufe zur eigentlichen Computersimulation bilden.

Ihre Bedeutung beschränkt sich aber nicht auf diese "Dienstleistungsfunktion". In Abhängigkeit zum jeweiligen Anwendungszweck kann z.B. durch die "geforderte Orientierung am Lebendigen" die "bewußte Einbeziehung

menschlicher Akteure"¹⁷ nur durch ein Planspiel geleistet werden.

Wenn also die Teilnehmer selbst Gegenstand sind bzw. zum Gegenstand der Simulation gehören, kann die Lösung primär durch ein Planspiel angeboten werden, bilden sie aber den Modellteil, der eventuell später durch ein Computerprogramm ersetzt werden soll, wird das Planspiel in seiner Dienstleistungsfunktion für die Computersimulation angesprochen.

c) Computersimulation

Die Computersimulation weist im Vergleich zu den beiden anderen Typen den höchsten Formalisierungsgrad auf.

Hier sind die menschlichen Einflüsse durch Mitspieler ausgeschlossen. Wenn also überhaupt ein Aktionsbereich in diesem Simulationstyp existiert, dann beschränkt er sich auf die Einflußmöglichkeiten des Modellkonstruktors, wobei in einigen Computersimulationsmodellen selbst diese Einflußmöglichkeit ausgegrenzt ist.

In diesen Modellen werden alle relevanten Verhaltensweisen, Beziehungen und Strukturen in das zugrundeliegende Modell aufgenommen. So versucht man z.B. menschliche Spontanität durch die Einführung von Zufallselementen zu integrieren bzw. zu modellieren.

Nachdem die Entwicklung der drei Simulationstypen geleistet worden ist, muß auf den idealtypischen Cha-

¹⁷ ULLRICH, O.: Technologiefolgen-Abschätzung und Computersimulation - politisch irrelevant? Oder: "Ganzheit" - eine fehlende Dimension der Policy-Forschung, in: Böhret, C. (Hrsg.): Simulationsmodelle für die öffentliche Verwaltung, Speyerer Forschungsberichte Nr.52, Speyer 1986, S.159

rakter dieser Typenbildung und damit darauf, daß in der Literatur dieser eindeutigen Unterscheidung nicht immer Rechnung getragen wird, hingewiesen werden. So werden, wie schon erwähnt, z.B. Planspiele, für deren Auswertung Computer (Großrechner oder Personal Computer) erforderlich sind, vielfach auch unter der Bezeichnung Computersimulationsmodell geführt. Diese Subsummierung orientiert sich am Kriterium des Computereinsatzes und erscheint daher zumindest plausibel. Dementsprechend wird in der vorliegenden Arbeit die reine Computersimulation von der Mensch-Maschine-Simulation unterschieden, dennoch beides als Bereiche der Computersimulation aufgefaßt.

2.2.2. COMPUTER UND SIMULATION

Unabhängig davon erfolgt die Entscheidung darüber, ob im Hinblick auf das im Computer zu implementierende Modell und auf das Untersuchungsziel, ein Analog- einem Digitalrechner¹⁸ vorzuziehen ist. Beide Rechner arbeiten nach zwei gänzlich verschiedenen Prinzipien.

So arbeitet der Digitalrechner mit diskreten, d.h. mit ganzen Zahlen, wobei Zwischenwerte durch eine Vielzahl von Ziffernstellen approximiert werden. Alle Rechenoperationen basieren auf dem Additionsprinzip.

"Die Organisation des Rechenbetriebes erfordert das Zusammenspiel von Eingabewerk, Speicher, Rechenwerk, Steuerwerk und Ausgabewerk. Das Problem liegt darin, eine Re-

18 Anm.: Der Hybridrechner, der eine Mischung aus beiden Rechnertypen bilden, ist nicht sehr stark verbreitet, so daß er aus der Betrachtung ausgeklammert werden kann.

chenaufgabe in aller kleinste Einzelschritte zu zerlegen, deren Reihenfolge durch Befehle in einem Programm festgelegt ist."¹⁹

Im Vergleich zu einem Digitalrechner basiert ein Analogrechner auf dem Prinzip der Darstellung von Werten durch analoge Größen, z.B. einer Zahl durch ein elektrisches Feld entsprechender Stärke, d.h. durch die Erfassung der Zahlen über elektrische Spannung arbeitet dieser Rechner mit kontinuierlichen Werten. Dabei erfolgt die Datenein- und -ausgabe durch Spannungsangaben.

Aufgrund der Tatsache, daß sich die digitale Simulation und damit auch die Verwendung eines Digitalrechners durchsetzen konnte, bilden sie deshalb im Folgenden ausschließlich den Betrachtungsgegenstand.

Im Rahmen einer umfassenden Untersuchung des Computersimulation interessiert darüber hinaus, welchen Beitrag die Computererfindung zur Simulation geleistet hat.

Eine erste Antwort liegt sicherlich in der seit ihrer Erfindung über "vier"²⁰ Generationen zunehmenden Leistungsfähigkeit der Computer. So benutzte die 1. Generation moderner Rechner als Schaltelemente Elektronenröhren.

"Die Impulsübertragung ist seit 1946 mechanikfrei und deshalb entsprechend schnell.

19 NOWAK, J.: Bausteine einer sozialwissenschaftlichen ..., a.a.O., S.151

20 Anm.: Ab 1972 wird der Generationenbegriff zurückgedrängt. Vgl. SCHULZE, H. H.: Das RORORO Computer Lexikon. Schwierige Begriffe einfach erklärt, Reinbek bei Hamburg 1984, S.20f

Die Rechengeschwindigkeiten steigen um das Zweitausendfache.²¹

Zur Veranschaulichung ist auf die Rechengeschwindigkeit zu verweisen, die ungefähr 1000 Additionen pro Sekunde betrug.

Der Transistor als billigeres, kleineres und weniger störanfälliges Schaltelement begründet ab 1955 die 2. Generation von Computern. Damit einher ging eine Steigerung der Rechenschnelligkeit auf ca. 10000 Additionen in der Sekunde.

Diese Transistoren werden ab 1962 auf Modulen zu Baugruppen vereinigt, was ungefähr 500000 Additionen pro Sekunde erlaubte und das Zeitalter der 3. Generation einläutete.

Die Aufgaben dieser Module wird ab 1970 durch die integrierten Schaltkreise (IC) übernommen. Jetzt betrug die Rechengeschwindigkeit etwa 10 Mio. Additionen pro Sekunde.

Nimmt man die Entwicklung der Mikroprozessoren in der Mitte der 70er Jahre dazu, kann man zwar von einer 4. Generation sprechen, was aber in der Literatur aus verschiedenen Gründen, wie z.B. mit dem Hinweis, daß die Entwicklungsstadien nicht mehr deutlich genug zu unterscheiden seien²², umstritten ist.

Eine vollständige Beantwortung der Frage nach dem Beitrag des Computers zur Simulation, müßte untersuchen, zu welchem Zeitpunkt Simulationen auf dem Computer mit welchem Erfolg versucht wurden. Im Rahmen der Darstellung des Entwicklungsverlaufes der Computersimulation

21 VOß, W.: EDV und BASIC - Mikrocomputer-Grundwissen, Vorlesungsskript, Bochum 1984, S.73

22 SCHULZE, H. H.: Das RORORO Computer Lexikon. Schwierige Begriffe einfach erklärt, Reinbek bei Hamburg 1984, S.20f

wird darauf Bezug genommen.

Bevor aber in einem nächsten Schritt ein Überblick über die Simulationsforschung gegeben wird, der in der Darstellung des gegenwärtigen Forschungsstandes mündet, sollen die Ausführungen bzgl. des begrifflichen und theoretischen Rahmens der Computersimulation mit der Darstellung des Modells, auf dem die Computersimulation basiert, und des Verhältnisses von Modell und Simulation beendet bzw. abgeschlossen werden.

2.2.3. DAS MATHEMATISCHE MODELL ALS EIN BASISMODELL DER COMPUTERSIMULATION

Wie schon erwähnt, basieren Computersimulationsmodelle z.T. auf mathematischen Modellen. Ein mathematisches Modell zeichnet sich als ein typisches formales Modell sowohl durch seinen hohen Abstraktionsgrad wie auch durch seine Möglichkeiten, komplexe und umfassende Strukturen darstellen zu können, aus.

Abbildungsgegenstand eines mathematischen Modells als Basismodell einer dynamischen Computersimulation ist ein dynamisches System, d.h. ein System, in das der Zeitablauf miteinbezogen wird.

In vielen Fällen ist es möglich die Elemente und Relationen dieses Systems quantitativ zu beschreiben. Diese sich im Zeitablauf ändernden Werte werden als Variablen bezeichnet.

Darüber hinaus können die Relationen zwischen den Elementen durch mathematische Gleichungen bzw. Gleichungssysteme wiedergegeben werden.

Ein mathematisches Modell eines Systems ist also konstruiert aus:

- Variablen, die Systemelemente und -relationen beschreiben,
- Gleichungen, die die Verbindungen zwischen den Variablen bzw. Elementen abbilden.

Dementsprechend lassen sich in einem mathematischen Modell drei Variablentypen unterscheiden:

1. Zustandsvariable (oder Systemvariable):

Sie gibt den Status des Systems zu einem festen Zeitpunkt wieder und ist daher auf das Systeminnere ausgerichtet.

2. Endogene Variable:

Als abhängige Variable hat sie ihren Ursprung im Modell, wobei ihr Wert durch die Modellstruktur und die -dynamik determiniert ist.

3. Exogene Variable:

Diese unabhängige Variable gibt die äußeren Einflüsse in das Modell ein. Dabei handelt es sich meist um eine einseitige, injektive Beziehung, d.h. das Modell selbst wirkt höchstens indirekt auf die exogene Variable. Exogene Variablen gehören zur Systemumwelt, was auf ihre herausragende Bedeutung für offene Systeme hinweist.

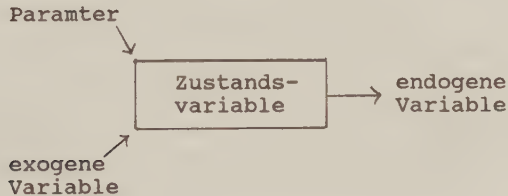
Exogene und endogene Variablen rekurrieren auf die externen Relationen des Systems.

In einem mathematischen Modell wirken darüber hinaus noch Parameter. Sie werden zwar als exogene Größe aufgefaßt, dienen aber nicht zur Beschreibung der externen Modellrelationen. Sie beeinflussen ausschließlich die Verknüpfungen zwischen den Variablen.

"Ein Parameter ist ein Charakteristikum oder Merkmal des Systems, das im ganzen voraussehbaren Arbeitsbereich nur einen Wert hat (sich aber beim Studium der verschiedener Alternativen ändern kann)."²³

Die nachfolgende Graphik veranschaulicht die Zusammenhänge:

Abb.7: Basismodell der Computersimulation



-----EINGABE-----MODELL-----AUSGABE-----

Basiert ein Computersimulationsmodell auf einem mathematischen Modell, gilt es zunächst, die interessierenden

²³ EMSHOFF, J.R./SISSON, R.L.: Simulation mit dem Computer, München 1972, S.74

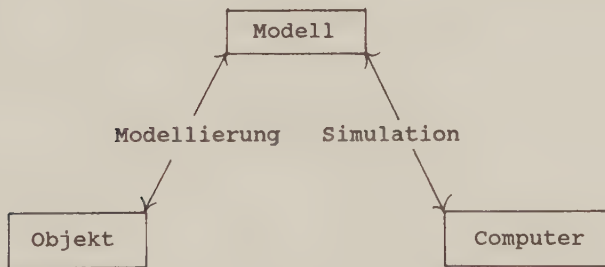
den Variablen und ihre Relationen untereinander quantitativ zu erfassen und z.B. Parameter zu schätzen.

Damit ergibt sich das zentrale Problem in einem mathematischen Modell der adäquaten Übertragung der im nachzubildenden System vorfindbaren Beziehungen in Gleichungen bzw. in Gleichungssysteme. Darauf soll aber in diesem Zusammenhang nicht weiter eingegangen werden.

2.3. DAS VERHÄLTNIS DER GRUNDBEGRIFFE DER COMPUTERSIMULATION: MODELL UND SIMULATION

Wie schon erwähnt, setzt die Anwendung der Methode der Simulation die Existenz eines Modells und damit die Modellbildung voraus. Im Hinblick darauf, daß dieses Modell für den Simulationslauf auf dem Computer implementiert werden muß, umfaßt die Computersimulation zwei Prozesse, die Modellierung und die eigentliche Simulation:

Abb.8: "Modellbildung und Simulation bei Zeigler
(1976)"²⁴



Ausgehend von diesem Schaubild kann die Modellierung als "eine Menge von Instruktionen, mit denen Daten generiert werden können, die diejenigen Daten gleichen, die durch Beobachtung eines realen Systems gewonnen werden können"²⁵, aufgefaßt werden und schließt damit

24 TROITZSCH, K.G./MÖHRING, M.: Simulationsverfahren in den Sozialwissenschaften, in: Faulbaum, F./Uehlinger, H.-M. (Hrsg.): Fortschritte der Statistik-Software 1, Stuttgart - New York 1988, S.434
25 Ebenda, S.434f

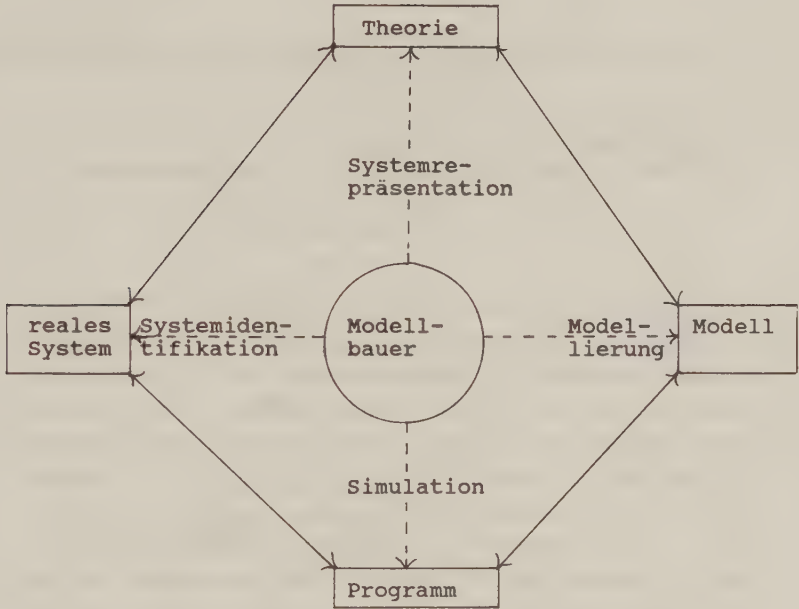
gedachte oder fiktive Systeme als Untersuchungsgegenstand aus.

Ersetzt man aber die aus der Realität gewonnenen Daten durch über Hypothesen geschätzte Daten als Vergleichsmaßstab, sind auch gedachte oder fiktive Systeme in diesem Modell faßbar.

Unabhängig davon, erfolgt in diesem Schaubild keine Berücksichtigung derjenigen Theorie, in die Modellbildung eingebunden ist. Dementsprechend kann das Schaubild, wie z.B. bei Troitzsch und Möhring in Anlehnung an Kreutzer²⁶, ausgebaut werden, wobei aber wiederum eine Beschränkung auf reale Systeme festzustellen ist:

26 TROITZSCH, K.G./MÖHRING, M.: Simulationsverfahren in den Sozialwissenschaften, a.a.O., S.435; Hier erfolgt ein Verweis auf Kreutzer, W.: System Simulation. Programming Styles and Languages, Sydney 1986

Abb.9: Theoriebildung, Modellierung und Simulation



Beide Schaubilder implizieren, allerdings unterschiedlich offensichtlich, die für die Computersimulation notwendigen Arbeitsschritte.

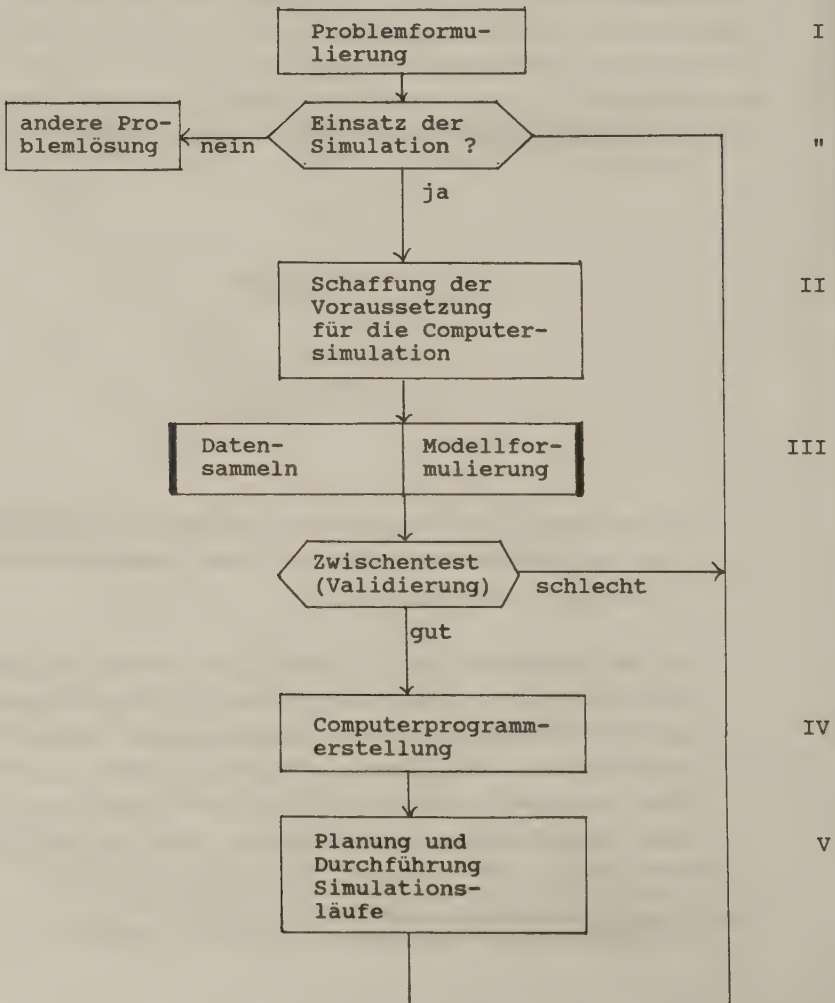
In der Literatur gibt es bzgl. der Darstellung dieser Arbeitsschritte höchstens graduelle Unterschiede, so daß in Anlehnung an die Vorgehensweise Krügers²⁷ das nachfolgende Ablaufschema entwickelt werden konnte. Faßt man eine Computersimulation als Projekt auf, können folgende sieben Projektphasen, die dem nachfolgen-

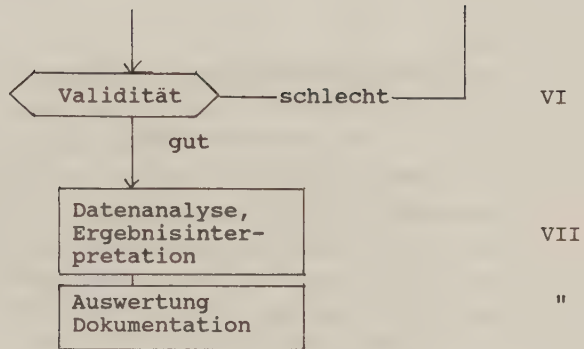
²⁷ KRÜGER, S.: Simulation...., a.a.O., S.42ff

den Schaubild (Abb.10) zu entnehmen sind, unterschieden werden:

Abb.10: Arbeitsschritte eines Computersimulationsprojektes

Arbeitsschritte eines
Computersimulationsprojektes in Projektphase:





Die ersten Projektphase beginnt mit der möglichst exakten Problemformulierung und umfaßt als solche, die Spezifikation des Untersuchungsziels und die Zweckbestimmung der Computersimulation (z.B. zur Entscheidungshilfe). Die Problemformulierung ist nicht zuletzt deswegen wichtig, weil nur mit ihrer Hilfe kontrolliert werden kann, ob das Untersuchungsziel erreicht wurde und somit die Arbeit abzuschließen ist.

Darüber hinaus muß in der ersten Phase geprüft werden, ob die Computersimulation eine problemadäquate Lösung darstellt oder andere Methoden ihr vorzuziehen sind.

In der daran anschließenden Projektphase gilt es, die wesentlichen Anwendungsvoraussetzungen der Computersimulation zu schaffen.

So muß zunächst der Objektbereich abgegrenzt werden, danach erfolgt die Bestimmung der Systemelemente und der Systemstruktur, für die ein adäquater Modellansatz (Mikro- oder Makromodell, dynamisches oder statisches, lineares oder nicht-lineares Modell usw.) ausgewählt werden muß, wobei gleichzeitig die Auswahl der Variablen, durch die das System beschrieben werden soll, erfolgt.

Dabei stehen diese einzelnen Arbeitsschritte in Depen-

denz zueinander.

In der nächsten Phase erfolgt die Datensammlung im Wechselspiel zur exakten Modellformulierung²⁸, wobei man sowohl die exogenen und endogenen Variablen als auch die Modellrelationen bestimmt.

Gerade hier wird die Verbindung und Abhängigkeit zwischen den Arbeitsschritten deutlich. So hängt z.B. die Formulierung der Modellrelationen unmittelbar von der Abgrenzung des Objektbereichs ab.

In dieser dritten Phase gehört darüber hinaus zur Modellformulierung die Quantifizierung des Modells.

Bevor das Computerprogramm in der anschließenden Projektphase erstellt wird, sollte das Modell einem Zwischentest z.B. auf logische Konsistenz, Widerspruchsfreiheit, inhaltliche Richtigkeit²⁹ usw. unterworfen werden.

In der vierten Projektphase wird das Modell programmiert. Die Programmiersprache wird dabei in Abhängigkeit sowohl zum Modellansatz als auch von der zur Verfügung stehenden Rechenanlage ausgewählt.

Dieser Arbeitsschritt umfaßt darüber hinaus alle Testläufe, die bis zum technisch fehlerfrei funktionierenden Programm, notwendig sind.

In der anschließenden Projektphase (Phase V) werden die Simulationsläufe geplant und durchgeführt.

28 Anm.: Daraus geht eindeutig hervor, daß es sich hier um einen datenbasierten Ansatz handelt.

29 Vgl. HARBORDT, ST.: Computersimulation in den Sozialwissenschaften, a.a.O., S.64

Die eigentliche Validitätsüberprüfung auf Zuverlässigkeit, empirische und pragmatische Gültigkeit baut auf der fünften Projektphase auf.³⁰

Gerade hier zeigt sich, ob die Datenbasis des Modell ausreichend ist. Wie an anderer Stelle schon angesprochen, benötigt man zum Validitätstest Daten, die nicht zur Modellkonstruktion herangezogen wurden. Andernfalls kann nur die Reliabilität des Modells untersucht werden.

Erst im Anschluß daran sind eine Ergebnisinterpretation und die Auswertung im Hinblick auf das vorgegebene Untersuchungsziel und die Dokumentation sinnvoll (Phase VII).

30 Anm.: Wie schon erwähnt, kann auf eine Validitätsprüfung bei einem Modell, das im Rahmen eines heuristischen Vorgehens angewendet wird, verzichtet werden. Entsprechendes gilt im Hinblick auf die Reliabilitäts- und empirische Validitätsprüfung für ein fiktives Modell.

3. ZUR SIMULATIONSVERBREITUNG

Im Hinblick auf eine kritische Einschätzung des Computersimulationseinsatzes in den Sozialwissenschaften ist es notwendig, sich mit der Geschichte bzw. der Entwicklung und den Diskussionen um die Computersimulation auseinanderzusetzen.

Die Literaturlage bzgl. der Geschichte der CS muß jedoch als sehr bescheiden bezeichnet werden. Entweder wird dieser Betrachtungsaspekt kommentarlos ausgeklammert, in wenigen Worten abgehandelt oder man bietet quasi als Ersatzantwort eine Auswahl von Modellbeispielen.

Diese Handlungsweise scheint mir symptomatisch für die Situation um die CS. Überall dort, wo sie sich als Methode etablieren konnte, bedarf es keiner Information über ihren Entwicklungsverlauf wie auch keiner kritischen Auseinandersetzung.

Diese Situation betrifft vor allem den Anwendungsereich Naturwissenschaften, in dem diese Methode ursprünglich entwickelt wurde. Die Unumstrittenheit der CS in diesem Bereich läßt sich sicherlich auf ihre erfolgreiche Verwendung, die jahrelange Erfahrung und auch auf den anderen Gegenstandsbereich zurückführen.

Nicht zuletzt die Tatsache, daß die Sozialwissenschaften im Vergleich zu den Naturwissenschaften, vorsichtig ausgedrückt, eine qualitativ andere Anerkennung erfuhren und erfahren, war für eine gewisse z.T. blockierende 'Konkurrenzhaltung' ausschlaggebend.

Daraus ergibt sich unmittelbar, daß eine Übertragung einer genuin naturwissenschaftlichen Methode in die Sozialwissenschaften, wie an der Diskussion um die Mathematisierung der Sozialwissenschaften ersichtlich,

nicht unproblematisch erfolgen kann.¹ Darauf wird noch im nachfolgenden Abschnitt einzugehen sein.

Ohne den Entwicklungsverlauf detailliert aufzuarbeiten und damit die Literaturlücke zu schließen, was im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich ist, erscheint folgende Lösung zielführend:

In einem ersten Schritt wird ein knapper Überblick über die Geschichte der Computersimulation gegeben, um anschließend ausführlicher auf das bislang wohl bekannteste Computersimulationsmodell, das Weltmodell des Massachusetts Institute of Technology (M.I.T.) aus den Jahren 1971/72, und die Auseinandersetzungen darum einzugehen.

Dabei erfolgte die Auswahl dieses Simulationsmodells nicht nur unter dem Gesichtspunkt seines Bekanntheitsgrades, sondern auch aufgrund der Tatsache, daß an ihm exemplarisch die Kritik an der Simulationsmethode der damaligen Zeit aufgezeigt werden kann.

3.1. DER ENTWICKLUNGSVERLAUF DER COMPUTERSIMULATION

Die Simulationsversuche entstanden im Bereich der Kernwaffenforschung in den USA während und nach dem Zweiten Weltkrieg aus der Engpaßsituation heraus, die

1 "... nicht genug damit, daß die empirische Sozialforschung sich der Statistik bedient und ihre Ergebnisse in Form von Korrelationen, Varianzen, Mittelwerten und Chi Quadraten ausdrückt, beginnen Mathematik und Programmiersprachen nunmehr die Invasion des sankrosankten Bereichs der Theorie!" ironisiert R. Mayntz diese Haltung von Sozialwissenschaftlern gegenüber naturwissenschaftlichen Methoden. MAYNTZ, R. (Hrsg.): Formalisierte Modelle ..., a.a.O., S.26, Vgl. HAAS, P.: Kritik der Weltmodelle, a.a.O., S.5

mathematischen Gleichungen zur Beschreibung des Verlaufs einer Kernwaffenexplosion analytisch nicht mehr lösen zu können.²

Das Dilemma bestand darin, daß man die interessierenden und erforderlichen Informationen über Kernwaffenexplosionen weder auf dem gewohnten Weg der analytischen Berechnung noch durch Laborexperimente erzielen konnte.

"Andererseits kann man keine beliebig kleinen Kernwaffenversuche im Labor ausführen, es muß dabei mindestens die 'kritische Masse' spaltbaren Materials beteiligt sein, die sogleich die vernichtende Energie freisetzt."³

Die Lösung bestand letztendlich darin, den Verlauf einer Kernwaffenexplosion auf dem Papier nachzubilden bzw. zu simulieren. Diese ersten wissenschaftlichen Simulationen erfolgten also "mit Bleistift und Papier" durch Berechnung mathematischer Gleichungen unter Zuhilfenahme von bestimmten statistischen Methoden, die, wegen einer gewissen Ähnlichkeit zum Roulettespiel, zu einer Bezeichnung dieses Vorgehens als "Monte-Carlo-Methode"⁴ inspirierten.

Aus heutiger Sicht läßt sich die damalige Problemlösungsstrategie zwar als Simulation bezeichnen, der Begriff selbst tauchte in der Literatur erst in den fünfziger Jahren auf.

Die Simulationsmethode wurde in dem Bereich, in dem sie entwickelt worden war, den Naturwissenschaften

² KRÜGER, S.: Simulation ..., a.a.O., S.9

³ Ebenda

⁴ Anm.: Das Verfahren entspricht allerdings nicht vollständig dem, was heute unter "Monte-Carlo-Technik" oder "Monte-Carlo-Methode" verstanden wird. Vgl. Kapitel II.1.ff

bzw. der Physik, auch im Hinblick auf den Computereinsatz ausgebaut und verbreitete sich immer mehr.

Mit der zunehmenden Etablierung als erfolgreiche naturwissenschaftlich-technische Methode wurden weitere Einsatzgebiete erforscht.

Infolge der fortschreitenden Durchdringung der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften in den USA durch entscheidungs- und spieltheoretische Lehren erkannte die Ökonomie als erste die Anwendungsmöglichkeiten dieser Methode in ihrem Bereich, insbesondere als ein wirksames Instrument der Unternehmensforschung bzw. des Operations Research.

Sukzessive erfolgten Anwendungsversuche in anderen Gebieten. So entwickelte man im Laufe der fünfziger Jahre zwar zahlreiche Simulationsmodelle in der Militärkonfliktanalyse und in der Wahlverhaltensforschung⁵, verstärkt wandte man den Simulationsansatz in den Sozialwissenschaften jedoch erst Ende der fünfziger bzw. Anfang der sechziger Jahren an und zwar auch außerhalb der USA, wie z.B. in Schweden, in der Schweiz und in der Bundesrepublik Deutschland. Es wurden z.B. Simulationsmodelle in der Psychologie (Verhaltenspsychologie), Soziologie und in der Stadt- und Regionalplanung entwickelt.

In dem Maße wie die Kapazität und Verbreitung der Computer voranschritt, desto komplexer wurden die Modelle und desto euphorischer wurde die Einschätzung bzgl. der Leistungsfähigkeit dieser Methode.⁶

5 Vgl. NOWAK, J.: Bausteine einer sozialwissenschaftlichen ..., a.a.O., S.7

6 Vgl. HARBORDT, ST.: Die überschätzte Computersimulation, in: Soziale Welt, 21/22. Jhg., Heft 4, S.494

Dieser Prozeß gipfelte 1971/72 in der Entwicklung des sozio-ökonomischen Weltmodelles des Massachusetts Instituts of Technology (M.I.T.) unter der Leitung von Dennis Meadows, Professor für Management an der Alfred P. Sloan School of Management des M.I.T..

Dieses sozio-ökonomische Modell der gesamten Menschheit war das Resultat des Ausbaus und der Verfeinerung der von Jay W. Forrester, ebenfalls Professor am M.I.T., 1970 entwickelten ersten Weltmodelle, World 1 und World 2.

Mit Hilfe dieses dritten, von einem internationalen Forscherteam erarbeiten, Weltmodells, wurde die Entwicklung der für die Lebensbedingungen auf der Erde als relevant eingestuften Faktoren wie Bevölkerung, Kapital, Ressourcen, Umweltverschmutzung und Nahrungsmittel bis in das Jahr 2100 prognostiziert.

Die Ergebnisse dieser globalen (computergestützten) Systemanalyse⁷ "ermöglichen eine weitreichende Analyse der Maßnahmen, die erforderlich sind, um eine Katastrophe für die Menschheit innerhalb der nächsten 130 Jahre zu vermeiden"⁸.

Dieses Weltmodell, das stellvertretend⁹ für alle bislang entwickelten Weltmodelle nachfolgend noch vertiefend erörtert wird, wurde als ein erstes Computersimulationsmodell einer breiten Öffentlichkeit bekannt und löste in seiner Einschätzung allseits starke Betroffenheit aus.

7 Vgl. HAAS, P.: Kritik der Weltmodelle, a.a.O., S.1, Fußnote 2

8 KRÜGER, S.: Simulation ..., a.a.O., S.10

9 Anm.: Mit dieser Vorgehensweise sollen die Differenzen zwischen den einzelnen Weltmodellen und die z.T. sehr unterschiedlichen Zielrichtungen nicht unterschlagen oder als unbedeutend ausgeklammert werden. Unumstritten ist jedoch die Tatsache, daß das M.I.T.-Weltmodell oder World 3 den größten Bekanntheitsgrad erlangte und nicht zuletzt aus diesem Grund der "Wegbereiter" für alle nachfolgenden war.

Der um dieses Weltmodell als Politikum entbrannten Kritik widmete man allerdings wesentlich weniger Aufmerksamkeit. Dabei griff man das Szenario bzw. die Szenarien der M.I.T.-Studie nicht nur inhaltlich an, sondern auch die kybernetische Methode der Computersimulation als solche wurde heftig diskutiert, was symptomatisch für die damalige Forschungssituation war. Denn zu diesem Zeitpunkt schlug die anfänglich euphorische, optimistische und leichtfertige Einstellung bzgl. der Leistungsfähigkeit der Computersimulationsmodelle aufgrund negativer Erfahrungen in Nüchternheit, kritische Reflexion und sogar Ablehnung um. Nowak faßt diesem Stimmungsumschwung wie folgt zusammen:

"Anstelle eines allzu schnellen Vorgehens beim Entwurf von Modellen setzt mehr eine grundlagenorientierte Simulationsforschung ein, die wissenschaftstheoretische, methodische und strategische Voraussetzungen für Simulationsmodelle erarbeitet, um klare Abgrenzungs- und Einsatzkriterien für den zukünftigen Entwurf von Simulationsmodellen zu erhalten. Insbesondere ist es notwendig, allzu anspruchsvolle Großmodelle im ersten Arbeitsanlauf zu vermeiden, da die Grenzen der Leistungsfähigkeit der Simulation nicht nur bei ihr selbst liegen, sondern auch in dem Stand der Theorie und der Datenanalyse begründet sind. Aus diesem Mangel an Grundlagendaten ergibt sich die Notwendigkeit einer intensiven Simulationsforschung."¹⁰

10 NOWAK, J.: Bausteine einer sozialwissenschaftlichen ..., a.a.O., S.9, Vgl. HARBORDT, ST.: Die überschätze Computersimulation, a.a.O.

3.1.1. DAS M.I.T.-WELTMODELL

Der Untersuchungsgegenstand der vom Club of Rome¹¹ initiierten bzw. in Auftrag gegebenen Studie ist die drohende Gefahr einer Überbevölkerung der Erde; als Untersuchungszweck wird angestrebt, "die politischen Entscheidungsträger in aller Welt zur Reflexion über die globale Problematik der Menschheit anzuregen"¹².

Ausgehend von der Tatsache, daß die Erde als ein physisches System eine endliche Größe besitzt, d.h. also begrenzt ist, kann sich ein Bevölkerungswachstum nicht unendlich fortsetzen.

An diesem Punkt setzen die M.I.T.-Forscher an und fragen nach den Faktoren, die dieses Wachstum limitieren. Als Antwort benannte man folgende Größen: die Rohstoffvorräte, die landwirtschaftlichen Anbauflächen (Nahrungsmittelproduktion), das industrielle Kapital (Industrialisierung) und die Umweltverschmutzung.

Dementsprechend stellen die Konstrukteure dieses sozio-ökonomischen Modells der gesamten Menschheit ihr Anliegen, die "Untersuchung von fünf wichtigen Trends mit weltweiter Wirkung"¹³, deutlich heraus und betonen zugleich, daß es sich um ein unvollständiges, stark

11 Dabei handelt es sich um einen "informellen Zusammenschluß von gegenwärtig etwa 70 Mitgliedern (Wissenschaftlern der verschiedensten Provienz, Industrielle, Wirtschaftler, Humanisten) aus 25 über die ganze Erde verteilten Staaten..." MEADOWS, D. u.a.: Grenzen des Wachstums. Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit, Stuttgart 1972, Vorwort von Eduard Pestel

12 Ebenda

13 Ebenda, S.15

vereinfachendes und verbesserungsfähiges (kybernetisches) Modell handelt.

"Dennoch glauben wir, daß es das gegenwärtig nützlichste Modell ist, um Probleme zu behandeln ..."¹⁴

Im Modell gilt ihr Interesse "der beschleunigten Industrialisierung; dem rapiden Bevölkerungswachstum; der weltweiten Unterernährung; der Ausbeutung der Rohstoffreserven und der Zerstörung des Lebensraums."¹⁵ Aufgrund der Tatsache, daß diese Entwicklungen untereinander verknüpft sind, wird eine isolierte Betrachtung eines einzelnen Faktors und seiner zeitlichen Veränderung abgelehnt.

"Wir versuchen mit Hilfe dieses Modells, die Ursachen der Entwicklungsrichtungen, ihre Wechselwirkungen und die sich ergebenden Folgen für den Zeitraum von Jahrhunderten zu erfassen."¹⁶

Zu diesem Zweck werden in einem ersten Schritt für die Grundgrößen kybernetische, dynamisch untereinander verbundene Regelkreise entwickelt, wobei die angenommenen kausalen Beziehungen¹⁷ fixiert werden. In Anschluß daran wird jede existierende Beziehung mit Welt-Daten oder, wenn diese nicht verfügbar waren, mit regionalen Daten untersucht.

14 MEADOWS, D. u.a.: Die Grenzen des Wachstums ..., a.a.O., S.15

15 Ebenda

16 Ebenda

17 Anm.: Die Autoren zeigen allerdings eine gewisse Differenziertheit in Bezug auf die postulierten Kausalbeziehungen. Sie ordnen sie in den Bereich der mittleren Genauigkeit ein. Vgl. MEADOWS, D. u.a.: Die Grenzen des Wachstums..., a.a.O., S.92

Ausgehend von den so bestimmten Annahmen wird dann über Extrapolation per Computer ein zukünftiges Verhalten des Weltssystems 'prognostiziert' bzw. ein Szenario abgeleitet, wobei diese Bilder als Ergebnis konzeptioneller Versuche einzuschätzen sind. Zumal in einem weiteren Schritt untersucht wird, welche Folgen oder Auswirkungen im Weltsystem sich als Ergebnis unterschiedlicher Maßnahmen zeigen würden.

Man muß allerdings darauf aufmerksam machen, daß die einzelnen Untersuchungsschritte untereinander verflochten sind bzw. aufeinander einwirken.

Für dieses Vorgehen gilt, wie Anatol Rapoport schon über das erste Weltmodell von Jay W. Forrester sagte:

"Das Paradigma «wenn so, dann so ...» wird in der Formulierung des Modells deutlich, in der nicht lediglich die angenommenen Werte von Parametern, sondern auch die angenommenen Ursachenketten enthalten sind."¹⁸

Dabei ist dem Modell der «wenn so»- und dem Computer, der ausschließlich mathematische Deduktionen durchführt, der «dann so»-Teil zuzuordnen.

In diesem Zusammenhang erscheint es sinnvoll, kurz auf das dieser CS zugrundeliegende mathematische Modell einzugehen.

Gerade im Hinblick darauf erweist es sich als einen Mangel, daß das mathematische Modell in der Studie "Grenzen des Wachstums" nicht vorgestellt wird.

Um aber dennoch zu einigen generellen Aussagen über das zugrundeliegende Modell zu gelangen, muß die Tatsache genutzt werden, daß, wie schon erwähnt, das M.I.T.-Weltmodell auf den von Forrester erarbeiteten

18 RAPOPORT, A.: Mathematische Methoden in den Sozialwissenschaften, a.a.O., S.62

Weltmodellen basiert und die von ihm entwickelte Methode der Systemdynamik (System-Dynamics)¹⁹ verwendet. Ohne detailliert auf die mathematischen Grundlagen dieser Weltmodelle und damit auch auf World 3 einzugehen bzw. eingehen zu können, wird schon allein durch die verbale Deskription offensichtlich, daß sie auf Differentialgleichungen beruhen. Es werden nämlich zwei Arten von Variablen oder Größen, Niveaus und Raten, unterschieden.

Die Niveauvariablen beschreiben den Zustand eines Systems zu einem beliebigen Zeitpunkt; ihre Werte können sich im Zeitablauf ändern. Somit können sie als Funktionen der Zeit und die Raten entsprechend als Ableitungen der Niveaus nach der Zeit dargestellt werden. Diese Ableitungen oder Differentialquotienten sind Funktionen einer oder mehrerer Basisvariablen.

Nach Forresters Einschätzung sind diese beiden Arten von Variablen zur Darstellung einer beliebigen Art von Systemen notwendig und hinreichend.²⁰

In dieser kybernetischen Methode werden Niveau- und Ratenvariablen entsprechend der Beobachtung der grundlegenden realen Erscheinungen über Gleichungen miteinander verknüpft, d.h. es wird versucht die Systemstruktur über ein Gleichungssystem zu erfassen.

19 Anm.: Jay W. Forrester, Professor am M.I.T. hatte in der Mitte der 50er Jahre mit seinen Mitarbeitern eine Methode, System-Dynamics, und eine Programmiersprache, DYNAMO, zur Analyse komplexer betriebswirtschaftlicher Vorgänge entwickelt. Nach ihrer erfolgreichen Anwendung in der Wirtschaft bzw. Unternehmung wurde die Methode auf die Stadt- und Regionalplanung übertragen und als Urban Dynamics bezeichnet.

20 FORRESTER, J.W.: World Dynamics, Cambridge/Mass. 1971, S.18

3.1.1.1. ZU DEN SCHLUSSFOLGERUNGEN DER M.I.T.-STUDIE

Schon zu Beginn ihrer Studie, die sich ausdrücklich an eine breite Öffentlichkeit wendet, kommen die Verfasser aufgrund ihrer Modellexperimente zu folgendem dramatischen Resultat:

Ein weiterhin unkontrolliertes Wachstum der Weltbevölkerung, der Industrialisierung, der Umweltverschmutzung, der Nahrungsmittelproduktion und der Ausbeutung der natürlichen Ressourcen führt zu den absoluten Wachstumsgrenzen auf der Erde im Laufe der nächsten hundert Jahre, was mit einer großen Wahrscheinlichkeit ein schnelles und nicht aufhaltbares Absinken der Bevölkerungszahl, der industriellen Kapazität und damit eine Katastrophe für die Menschheit bewirkt.

Als Ursache der drohenden Katastrophe wird im Modell die Erschöpfung der Ressourcen bzw. der Rohstoffvorräte angeführt. Folgende Entwicklungen bilden die Basis dieser Einschätzung:

Die Industriekapazität steigt bis zu einer Höhe, die enorme Rohstoffmengen verbraucht, d.h. schon infolge dieses Wachstumsvorganges werden die Rohstoffvorkommen stark reduziert.

"Mit zunehmender Ausbeutung der Lagerstätten und mit steigenden Rohstoffpreisen ist immer mehr Kapital zur Rohstoffbeschaffung erforderlich, so daß immer weniger Mittel für weiteres Wachstum eingesetzt werden können."²¹

Diese Entwicklung gipfelt darin, daß die Abnutzung der Industrieanlagen nicht mehr durch Erneuerungsinvestitionen ausgeglichen werden können, was einen Kollaps

21 HARBORDT, ST.: Die Grenzen einer Prognose. Anmerkungen zur Simulationsstudie des "Club of Rome", in: Soziale Welt, 23. Jhg., Heft 4, S.412

der industriellen Basis bewirkt, der auf die beiden anderen Sektoren, die Landwirtschaft oder den Dienstleistungssektor, übergreift. Die daraus resultierende Nahrungsmittelknappheit und der Mangel an Gesundheitsfürsorge bewirken einen Anstieg der Sterberate, d.h. "die Kurve der Weltbevölkerung fällt steil ab"²².

Könnte man die Rohstoffvorräte vervielfachen, z.B. aufgrund verbesserter Nutzungstechnologien, würde sich die Katastrophe durch die steigende Umweltverschmutzung einstellen.²³

Gelänge es, diese zu reduzieren, so würde die Bevölkerungsentwicklung durch die Grenzen der landwirtschaftlichen Anbauflächen limitiert.²⁴

Durch eine Intensivierung bzw. Produktivitätssteigerung im Agrarsektor könnte die Bedrohung durch die Umweltverseuchung nur verzögert, nicht beseitigt werden.²⁵

Deshalb betrachten die Autoren der Studie technologische Verbesserungen nicht als Problemlösungsstrategie. Sie sehen vielmehr ihren Wert in Hinblick auf einen globalen Gleichgewichtszustand, der als ein Ausweg dadurch gekennzeichnet ist, daß in ihm Bevölkerung und Kapital zeitlich konstant bleiben, d.h. die Sterberate ist genauso groß wie die Geburtenrate und die Kapitalinvestitionsrate entspricht der Kapitalabnutzungsrate, wobei darüber hinaus alle Zugangs- und Abgangsraten auf ein Minimum beschränkt werden.

22 HARBORDT, ST.: Die Grenzen einer Prognose ..., a.a.O., S.412

23 Vgl. MEADOWS, D. u.a.: Die Grenzen des Wachstums ..., a.a.O., S.112ff

24 Vgl. ebenda, S.122ff

25 Vgl. ebenda, S.125ff

In einem solchen Gleichgewichtszustand wären technologische Verbesserungen zur Zustandssicherung notwendig. Die Autoren führen dazu verschiedene Beispiele für einen zielführenden Einsatz von technologischen Fortschritt an:

"Neue Methoden zur Erfassung von Abfällen, um die Umweltverschmutzung zu reduzieren und Rohmaterialien zurückzugewinnen; wirksamere technische Methoden zur Rückgewinnung, um die Rate des Rohstoffverbrauchs zu senken; ..."²⁶

Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß die Autoren der Studie es nicht bei dieser negativen "Weltuntergangsvision aus dem Computer"²⁷ belassen, sondern darüber hinaus in ihrer Studie einen Ausweg anbieten wollen:

"...

2. Es erscheint möglich, die Wachstumsgrenzen zu ändern und einen ökologischen und wirtschaftlichen Gleichgewichtszustand herbeizuführen, der auch in weiterer Zukunft aufrechterhalten werden kann. Es könnte so erreicht werden, daß die materiellen Lebensgrundlagen für jeden Menschen auf der Erde sichergestellt sind und immer noch Spielraum bleibt, individuelle menschliche Fähigkeiten zu nutzen und persönliche Ziele zu erreichen.

3. Je eher die Menschheit sich entschließt, diesen Gleichgewichtszustand herzustellen, und je rascher sie damit beginnt, um so größer sind die Chancen, daß sie ihn auch erreicht."²⁸

26 MEADOWS, D. u.a.: Die Grenzen des Wachstums ..., a.a.O., S.159

27 Spiegeltitel in der Ausgabe Nr.21 des Jahres 1972, S.126

28 MEADOWS, D. u.a.: Die Grenzen des Wachstums ..., a.a.O., S.17

Wie schon angesprochen, löste die Studie zwar allseits starke Betroffenheit aus, aber zugleich recht unterschiedliche Reaktionen.

Beschäftigten sich die einen weitgehend mit den Schlußfolgerungen bzw. den Aussagen der M.I.T.-Studie, wie z.B. die Medien und auch verschiedene Politiker, konzentrierten sich andere mehr auf die Vorgehensweise der Weltmodellkonstrukteure, d.h. setzte man sich mit der angewandten Methode kritisch auseinander. Diese Auseinandersetzung erfuhr allerdings wesentlich weniger öffentliche Aufmerksamkeit.

Im Folgenden wird sowohl die unkritische Reaktion der Öffentlichkeit nachgezeichnet wie auch auf die methodische Kritik eingegangen. Dabei erscheint es allerdings sinnvoll, zunächst die methodischen Einwände relativ ausführlich zu erläutern, um so zum einen ihrer modelltheoretischen Bedeutung gerecht zu werden und zum anderen die Reaktionen der Öffentlichkeit einschätzen zu können.

Vorab gilt es das Weltmodell unter den im ersten Teil dieser Arbeit entwickelten modelltheoretischen Aspekten zu charakterisieren: Das vorliegende System-Dynamics-Modell ist ein quantitatives, zeitdiskretes, deterministisches, nichtlineares, dynamisches Makromodell.

3.1.1.2. METHODISCHE KRITIK DES M.I.T.-WELTMODELLS

Sieht man von den mehr generellen Einwendungen gegen die Studie, wie z.B., daß sie ihrem eigenen Anspruch, die Ursachen der Entwicklungsrichtungen erfassen zu wollen, durch den Ausschluß der sozio-ökonomischen

Verhältnisse nicht gerecht werden kann²⁹, oder daß das Modell nicht alle wichtigen Einflußgrößen berücksichtigt (ein Vorwurf, der gegen jedes Modell erhoben werden kann), einmal ab, so muß man sich detaillierter mit den Mängeln des Modells befassen.

Dies geschieht z.B. in einem sehr lesenswerten Aufsatz³⁰ von Steffen Harbordt aus dem Jahr 1972, der nachfolgend in seiner differenzierten und pointierten Kritik wiederholt herangezogen wird.

Diese Veröffentlichung zeichnet sich nicht nur durch seine Qualität aus, sondern interessiert darüber hinaus nicht zuletzt deswegen, weil Steffen Harbordt zu Beginn der Studie "Grenzen des Wachstums" als einer der beteiligten Mitarbeiter vorgestellt wird.

Aus der daraus resultierenden Verantwortung entläßt er sich aber in einer der ersten Fußnoten seines Aufsatzes, indem auf seine zeitlich sehr begrenzte Projektinvolvierung hinweist:

"Da ich mit dem Forschungsteam vier Wochen lang (als erst spät hinzugezogener «sozialwissenschaftlicher Berater») assoziiert war, kann ich mich im folgenden auf Informationen stützen, die in den «Grenzen des Wachstums» nicht enthalten sind."³¹

Harbordts Hauptkritik richtet sich gegen die unzureichende empirische Validität und die mangelnde methodische Absicherung des Weltmodells.

So verweist er auf eine Eigenart der System-Dynamics-Methode im Hinblick auf die Entwicklung der Modellstruktur. Wie bereits erwähnt, basiert die Modell-

29 HAAS, P.: Kritik der Weltmodelle, a.a.O., S.7,

30 HARBORDT, ST.: Die Grenzen einer Prognose ..., a.a.O., S.410-424

31 Ebenda, S.411

struktur auf mathematischen Gleichungen, wodurch sich die Notwendigkeit und zugleich die Probleme der Parameterschätzung und der Bestimmung der Gleichungsform ergeben. Indem man aufgrund von Plausibilitätsüberlegungen tabellarische Funktionen für den Verlauf bzw. das Verhalten des interessierenden Variablenzusammenhangs aufstellt, werden diese Schwierigkeiten umgangen.

"So bequem dieser Ausweg auf der einen Seite ist, so leicht kann er andererseits zur Konstruktion eines empirisch ungenügend abgesicherten Modells führen, wenn man die Kurvenverläufe - als Verknüpfung von jeweils zwei Variablen - nicht aus der Analyse statistischer Daten ermittelt, sondern nach dem Kriterium der Plausibilität festlegt."³²

Die Besonderheit und damit Fragwürdigkeit der System-Dynamics-Methode basiert also auf dem Einbezug von Tabellenfunktionen, wobei Hypothesen, d.h. Annahmen, über deren Kurvenform und über die Skalierung, d.h. Achseneinteilung, die Grundlagen der Schätzung bilden. Allerdings schwächt Harbordt den aus dieser Vorgehensweise ableitbaren Vorwurf ab, indem er auf den "notorischen Datenmangel"³³ im Hinblick auf eine empirisch begründete quantitative Spezifizierung der Modellrelationen hinweist. Aber nicht zuletzt unter dem Gesichtspunkt der kritischen Einschätzung der Modellergebnisse erfährt dieser Einwand seine Bedeutung.

32 HARBORDT, ST.: Die Grenzen einer Prognose ..., a.a.O., S.415

33 "Zu dem Datenmangel, der durch das hohe Aggregationsniveau des Modells noch verschärft wurde, kam indessen der Zeitdruck hinzu, unter dem die Arbeit stand; er verhinderte es in etlichen Fällen, daß auch vorhandene Daten herangezogen und ausgewertet wurden." Ebenda, S.416

Die Autoren der M.I.T.-Studie bezeichnen zwar selbst an einer Stelle ihres Berichtes die Modellrelationen als Hypothesen³⁴, übergehen diesen Aspekt aber bei der Interpretation der Modellergebnisse.

Das Modell weist unter methodischen Gesichtspunkten noch andere Mängel auf.

So bleibt nicht nur "die wissenschaftstheoretisch interessante Frage, wie die Denkmodelle entstehen, die den operationalisierten Computermodellen zugrunde liegen"³⁵, ungestellt, das Modell selbst wird keinem Validitätstest unterworfen.

Auch wenn von Seiten der Verfasser zumindest der Eindruck erweckt wird, daß eine Gültigkeitsüberprüfung stattgefunden hat, indem Simulationsläufe für einen zurückliegenden Zeitraum mit den Ergebnissen des realen Verlaufs verglichen werden.³⁶

Vordergründig scheint ein solches Vorgehen einer Validitätsüberprüfung durch Retrognose zu entsprechen, die, wie bereits angeführt, durch den Versuch gekennzeichnet ist, das Verhalten des Untersuchungsgegenstandes, des abgebildeten Systems, für eine vergangene Zeitspanne durch das Modell zu reproduzieren. Wie schon an anderer Stelle erläutert, erlaubt der danach anschließende Outputvergleich eine Einschätzung im Hinblick auf die Modellgültigkeit; eine Methode, die nur Aussagen über die Verhaltens- nicht aber über die Strukturähnlichkeit erlaubt.

In der vorliegenden Studie einer "erdumspannenden Langzeitprognose"³⁷ wird die Outputübereinstimmung al-

34 Vgl. MEADOWS, D. u.a.: Die Grenzen des Wachstums ..., a.a.O., S.108

35 HAAS, P.: Kritik der Weltmodelle, a.a.O., S.11

36 Vgl. MEADOWS, D. u.a.: Die Grenzen des Wachstums ..., a.a.O., S.111

37 GEIGER, H./SCHNEIDER, J.: Der Umgang mit Computern. Möglichkeiten und Probleme ihres Einsatzes, München 1975, S.136

lerdings durch ein Variieren der Inputwerte oder, pointierter ausgedrückt, durch "Herumprobieren mit den Ausgangswerten und durch Parametermanipulation" herbeigeführt, d.h. das Modell wird den Prüfdaten angepaßt.

"Derartiges Jonglieren ist das Gegenteil eines strengen Gültigkeitstests".³⁸

Zusammenfassend ist festzuhalten, daß Datenknappheit, Zeitmangel, das System-Dynamics-Verfahren für die unzureichende empirische Validität des Modells, die zudem noch nicht einmal umfassend und somit verantwortungsvoll getestet wurde, ausschlaggebend sind.

Darüber hinaus greift Harbordt die theoretische Grundlage des Modells an.³⁹ Seiner Ansicht nach, ist sie nicht dem Stand der Theorie adäquat.

Aufgrund der Tatsache, daß eine sinnvolle Auseinandersetzung mit dieser Kritik nur in einer sehr ausführlichen, detaillierten Diskussion erfolgen kann, was im Rahmen dieser Arbeit, in der insbesondere die methodische Kritik interessiert, nicht möglich ist, soll darauf nicht weiter eingegangen werden.

Ein weiterer Kritikpunkt liegt in dem schon angesprochenen hohen Aggregationsniveau des Modells, das aus dem Anspruch, ein Weltmodell darzustellen, resultiert.

38 HARBORDT, ST.: Die Grenzen einer Prognose ..., a.a.O., S.418

39 Anm.: In diesem Zusammenhang ist auf die Kritik der Fachwissenschaft an den Behauptungen und Folgerungen der Systemanalysen des M.I.T.-Weltmodells hinzuweisen. Vgl. NUSSBAUM, H.V. (Hrsg.): Die Zukunft des Wachstums. Kritische Antworten zum «Bericht des Club of Rome», Düsseldorf 1973

Dies impliziert zum einen, daß, wenn die Beziehungen zwischen den Variablen datenbasiert oder zumindest -orientiert konstruiert werden sollen, fast ausschließlich Informationen der amtlichen Statistik der Industrienationen herangezogen werden können, da Entsprechendes in den Entwicklungsländern nicht oder nur sehr unzureichend verfügbar ist.

Zum anderen bedeutet dies aber auch unter inhaltlichen Gesichtspunkten:

"Die Studie läßt die gewaltigen und sich weiter vergrößernden Unterschiede und Ungleichheiten innerhalb und mehr noch zwischen den Ländern außer Betracht (...). Zur Begründung führt er (der M.I.T.-Bericht, B.W.) an, daß Ungleichheiten in der Verteilung als soziale Fragen anzusehen und definiert sind und als solche innerhalb des «Welt-Simulations-Modell» keine Platz haben. Diese >errechne< lediglich das maximale Verhalten unseres Weltsystems unter der Voraussetzung, daß in einer weltumspannenden Perspektive einsichtsvolles Handeln in Weltfragen möglich ist....Kurz: Das Systemmodell läßt zuviel Wirklichkeit aus, um Aussagewert zu besitzen."⁴⁰

Diese Kritik von Gunnar Myrdal richtet sich dagegen, daß im Weltmodell alle Unterschiede in einen einzigen Satz von Parametern zusammengefaßt werden, was einer Unterstellung eines überall gleichwirkenden Beziehungsgefüges entspricht.

Diese Kritik verliert nicht an Bedeutung dadurch, daß die Verfasser der M.I.T.-Studie in Kenntnis der ungleichen Verteilung von Nahrungsmitteln, Rohstoffen und Kapital die Vermutung äußern, daß die "grundlegenden Beziehungen zwischen Bevölkerungszahl, Nahrungsmittelproduktion, Investition, Abnutzung der Produkti-

40 MYRDAL, G.: Ökonomie einer verbesserten Umwelt, in: Nussbaum, H.v. (Hrsg.): Die Zukunft des Wachstums ..., a.a.O., S.18

onsanlagen, Rohstoffen und industrieller Produktion überall auf der Welt grundsätzlich diesselben seien" und ihr Modell somit globale Einsichten vermittele.

In Kritik dieser Handhabung wurden den Autoren der berechnete Vorwurf gemacht, daß eine derart abgebildete Menschheit, überhaupt keine Ähnlichkeit mit der Konkreten aufweise.⁴¹

Unter methodischen Gesichtspunkten erscheint also die Modellkonstruktion, insbesondere die Entscheidung für die Verwendung eines hohen Aggregationsniveaus, d.h. für ein Makromodell, zum einen nicht ohne eine ausführliche theoretische Begründung unter methodischen und inhaltlichen Aspekten möglich; zum anderen gilt es diese Entscheidung in der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen, aber gerade dies geschieht im Bericht "zur Lage der Menschheit" nicht.

Ein weiterer Vorwurf liegt in der Tatsache, daß das Weltmodell keine sozialen und politischen Variablen enthält, d.h. die sozio-ökonomische Verhältnisse werden aus dieser globalen Systemanalyse ausgeklammert.

Haas schreibt dazu (zugegebenermaßen etwas polemisch, aber im Kern zutreffend):

"Politische Vorgänge werden im Rang klimatischer Besonderheiten unberücksichtigt gelassen"⁴².

Die Auseinandersetzung mit dieser mehr inhaltlichen Kritik erweist sich zum einen im Hinblick auf die Interpretation der Ergebnisse als unumgänglich, zum anderen gehört die Auswahl der interessierenden Variablen zum Bereich der Modellkonstruktion und somit in

41 Vgl. HAAS, P.: Kritik der Weltmodelle, a.a.O., S.44
42 Ebenda, S.43

einem weiteren Sinne zur Methode.

Wie auch Harbordt anmerkt, kann gegen jedes Modell das Fehlen "wichtiger" Variablen eingewendet werden, da, wie schon an anderer Stelle dieser Arbeit ausgeführt, ein Modell immer nur eine vereinfachte Abbildung der Realität sein kann.

Wenn also die Bedeutung dieses Einwandes nicht in Relation zum Modellziel oder zum Modellanspruch gesehen wird, besteht die Möglichkeit eines Mißbrauchs dieses Arguments; es wird zu einer omnipräsenten "Killerphrase"⁴³.

Betrachtet man den Prognosezeitraum von 200 Jahren, den das Weltmodell abzudecken versucht, kommt man unweigerlich zu der Schlußfolgerung, daß ein solches Modell ohne die Einbeziehung z.B. der weltpolitischen Entwicklungen einfach unrealistisch sein muß, oder, anderes gesagt, daß im Modell implizit eine ceteris-paribus-Annahme unveränderter politischer und sozio-ökonomischer Verhältnisse getroffen wurde.⁴⁴

Die Verfasser selbst begründen den Ausschluß dieser unumstritten wichtigen Variablen bzw. die Beschränkung auf die "mehr materiellen Komponenten der menschlichen Lebenstätigkeit"⁴⁵ damit, daß eine Einbeziehung zu schwierig gewesen wäre.

Harbordt vermutet demgegenüber den Grund vielmehr in der Tatsache, daß in das Forschungsprojekt keine Wis-

43 HARBORDT, ST.: Die Grenzen einer Prognose ..., a.a.O., S.417

44 Beispielsweise: "Es wird dabei angenommen, daß soziale Größen wie Einkommensverteilung, die Einstellung zur Familiengröße, der Bedarf an materiellen Gütern, Dienstleistungen und Nahrungsmitteln prinzipiell gleichartig weiter wirken wie bisher in der jüngeren Geschichte." MEADOWS, D. u.a.: Die Grenzen des Wachstums ..., a.a.O., S.128

45 Ebenda

senschaftler mit soziologischen und politologischen Kenntnissen involviert waren.⁴⁶

Anders dagegen Georg Picht:

"Warum sind in der MIT-Studie alle jene Parameter ausgeklammert worden, die sich auf menschliches Denken oder Bewußtsein oder auf innere Veränderungen der Gesellschaft beziehen? Die Antwort ist einfach. Sie lassen sich - trotz aller Versuche einer angeblich empirischen Sozialwissenschaft, uns vom Gegenteil zu überzeugen - nicht quantifizieren. Die zukünftige Entwicklung von Wissenschaft und Technologie ist ebenso unkalkulabel wie die Entwicklung des politischen Bewußtseins in den Industrienationen und in der Dritten Welt. Selbst ein Minimum an historischer Bildung kann uns schon darüber belehren, daß der reale Gang der Geschichte stets von Faktoren abhängig ist, die sich nicht berechnen lassen. ... Die Welt, in der wir leben, aber wird von einem Aberglauben beherrscht, dem sich Politiker ebenso unterworfen haben wie die Wissenschaftler: dem Aberglauben, daß nur real sei, was auch quantifiziert werden kann. Alle systemanalytischen Schwächen der Meadows-Studie haben in diesem Aberglauben ihre Wurzeln."⁴⁷

Ein letzter Kritikpunkt, dem Harbordt den Status der Unentschuldbarkeit einräumt, ist die Tatsache der Vermengung von Aussagen über das Modell und Aussagen über die Wirklichkeit.

Wie schon erwähnt, weisen die Verfasser zwar wiederholt auf die Begrenztheit und Vorläufigkeit ihres Modells hin, übergehen dies aber bei der Interpretation

46 HARBORDT, ST.: Die Grenzen einer Prognose ..., a.a.O., S.417

47 PICHT, G.: Die Bedingungen des Überlebens, in: Nussbaum, H.v. (Hrsg.): Die Zukunft des Wachstums ..., a.a.O., S.54

der Resultate.

Ihre Langzeitprognose soll weder zeitlich exakt verstanden werden noch beanspruchen sie die Variablenwerte quantitativ voraussagen zu können, sie "bescheiden" ihren Anspruch darauf, die grundsätzliche Verhaltensweisen des Weltssystems unter der Annahme, daß keine Korrekturen vorgenommen werden, zu prognostizieren.

Darüber hinaus sind sie der Ansicht, daß ihr Modell als Grundlage für politische Entscheidungen genügt.⁴⁸

Damit kann ihnen der berechtigte Vorwurf gemacht werden, daß sie, indem sie nicht zwischen Aussagen über das Modell und über die Realität differenzieren, "die Grenze zwischen Erfahrungswissenschaft und Wahrsagerie" überschreiten.

Gerade im Hinblick darauf, daß sich der Bericht an eine breite Öffentlichkeit wendet, wird diese Vermengung zu einem Problem. Harbordt schreibt dazu:

"Dies wiegt um so schwerer, als Nicht-Experten und unkritische Leser darauf hereinfallen. Das Buch ist ein Bestseller geworden"⁴⁹.

Ohne die Verdienste der Studie, z.B. die herrschende ökonomische Wachstumsideologie infrage zu stellen und die grundsätzlich existierende Problematik populär thematisiert zu haben, schmälern zu wollen, wird, angesichts der zunehmenden Zukunftsängste vieler Menschen, durch die Vermischung von Aussagen über das Mo-

48 Vgl. MEADOWS, D. u.a.: Die Grenzen des Wachstums ..., a.a.O., S.16

49 HARBORDT, ST.: Die Grenzen einer Prognose ..., a.a.O., S.420

Anm.: Das Buch "Die Grenzen des Wachstums" wurde in mehr als 20 Sprachen übersetzt und über 4 Millionen Exemplare konnten verkauft werden.

dell und solchen über die Realität noch eine wissenschaftlich fundierte hinzugefügt. Nicht zuletzt aus diesem Grund interessiert die Reaktion der Öffentlichkeit auf die M.I.T.-Studie.

3.1.1.3. ZU DEN REAKTIONEN DER ÖFFENTLICHKEIT AUF DIE M.I.T.-STUDIE

Wenn man sich für die Reaktion der Öffentlichkeit interessiert, muß man zunächst danach fragen, welche Informationen ihr, von der Lektüre des Berichts des Club of Rome einmal abgesehen, zugänglich waren. In diesem Zusammenhang spielen die Medien und insbesondere solche Printmedien wie Zeitschriften, Wochenmagazine und Tageszeitungen eine bedeutende Rolle.

Die nachfolgenden Auszüge aus Presseberichten oder aus kritischen Auseinandersetzungen mit denselben sollen einen Eindruck darüber vermitteln, wie Einschätzungen bzw. Urteile in Ermangelung qualitativer Kriterien an Äußerlichkeiten und Formalien festgemacht und der Öffentlichkeit präsentiert werden:

"Das Ende der Menschheit für spätestens das Jahr 2100 hat ein Forscherteam vom renommierten Massachusetts Institute of Technology in einer Studie vorausgesagt. Denn Bevölkerung, Nahrungsmittelproduktion, Industrialisierung, Rohstoffverbrauch und Umweltverschmutzung treiben rapide an absolute Wachstumsgrenzen auf der Erde. Nach dem Urteil der Wissenschaftler Donella H. Meadows, Dennis L. Meadows, Jorgen Randers und William W. Behrens III hat für die Menschheit der 29.Tag bereits begonnen ... Den Menschheits-Kollaps für spätestens das Jahr 2100 ermittelten Meadows und seine insgesamt 16 Kollegen in rund 18monatiger Arbeit mit Hilfe eines Weltmodells, in dem sie Entwicklungstrends und ihre Ursachen, ihre Wechsel-

wirkungen und die sich ergebenden Folgen für rund ein Jahrhundert mathematisch zu erfassen suchten. Inspiriert hatte die Prognose der Club of Rome, der 1968 auf Anregung des italienischen Industriellen Aurelio Peccei von Wirtschaftlern und Wissenschaftlern verschiedener Disziplinen als Diskussionsforum gegründet worden war."

"Für «Die Zeit», wo von einer «Bombe im Taschenbuchformat» die Rede ist, gelten augenscheinlich das «berühmte Massachusetts Institute of Technology» - eine «Forschungsstätte von hoher Weltgeltung» -, ein aus «17 renommierten internationalen Wissenschaftlern» bestehendes Forschungsteam, ein «brillanter MIT-Professor für Management» als Leiter und die Kunde, daß an jenem M.I.T. «schon mehrmals für solche Computer-Simulationen komplexer Systeme ... mit nachweisbaren Erfolg ausgeführt wurden», als hinreichender Ausweis für Qualität. Reizworte wie «mathematische Systemanalyse» und «moderne wissenschaftliche Methodik» tun ein übriges."⁵⁰

Mit solchen und ähnlichen Artikeln wurde die Öffentlichkeit von Seiten der Presse mit der Studie und ihren Ergebnisse konfrontiert. Angesichts dieser "Informationen" bzw. dieser Sensationsmache oder Wissenschaftsgläubigkeit und den vermeintlich dramatischen Ergebnissen der Studie kann den z.B. von Global 2000 angeführten Schlußfolgerungen der Leser der Studie und der Presseveröffentlichungen nur zugestimmt werden,

50 HARBORDT, ST.: Die Grenzen einer Prognose ..., a.a.O., S.421, Hier werden die Ausgaben der Zeitschrift "Die Zeit" Nr.11, S.64f und Nr.24, S.46 aus dem Jahre 1972 zitiert. In diesem Zusammenhang merkt Harbordt z.B. bezgl. der "17 renommierten Wissenschaftler" an, daß es sich bei der Hälfte dieser Personen um Studenten des M.I.T. und um die mit der organisatorischen Projektabwicklung Beschäftigten handelte.

die ein Schwanken der Öffentlichkeitsreaktion in Abhängigkeit zum jeweiligen Erfahrungsstand sehen.

So war es offensichtlich, daß Menschen, die mit dieser Thematik noch nie zuvor befaßt waren, mehr emotional reagierten und die Studie deprimierend als "Weltuntergangsvision" empfanden.

Andere wiederum setzten sich abwehrend mit der Studie auseinander:

"Ja, aber sie haben die Technologie nicht berücksichtigt."⁵¹

Oder:

"Man kann ein Modell so manipulieren, daß es jedes gewünschte Ergebnis erbringt."⁵²

Sieht man von den relativ unkritischen Reaktionen der Öffentlichkeit einmal ab, so muß man zumindest den Journalisten den Vorwurf machen, daß sie ihrer Transferfunktion zwischen Wissenschaft und nichtwissenschaftlicher Öffentlichkeit durch die Popularisierung und Vermittlung von Wissenschaftsthemen und Forschungsergebnissen, Informationen über neue Forschungsmethoden eingeschlossen, im Fall der Berichterstattung über die M.I.T.- Studie nicht gerecht wurden.

Um die Ergebnisse und das Weltmodell in seiner Bedeutung einschätzen zu können, wären Informationen über die Modellkonstruktion, die z.T. schon im Rahmen der methodischen Kritik angesprochen wurden, notwendig gewesen.

51 GLOBAL 2000. Der Bericht an den Präsidenten, Frankfurt 1980, S.1181

52 Ebenda

Als Fazit ist festzuhalten, daß der Studie und ihren Ergebnissen als einem der ersten Computersimulationsmodelle des Weltsystems sehr viel Aufmerksamkeit entgegengebracht wurde.

Darüber hinaus bildete es gleichzeitig für einige wenige Wissenschaftler den Ausgangspunkt, um sich mit der in der M.I.T.-Studie verwandten kybernetische Methode der Computersimulation kritisch auseinanderzusetzen. Dabei muß man der Schlußfolgerung zustimmen, daß die erfolgreiche Verwendung einer genuin naturwissenschaftlichen Methode in den Sozialwissenschaften grundlagenorientierte Simulationsforschung zur Schaffung der notwendigen wissenschaftstheoretischen, methodischen und strategischen Voraussetzungen benötigt. Dies gilt umso mehr, wenn man die Entwicklung und Konstruktion von Makromodellen anstrebt.

Nicht zuletzt aus diesem Grund interessiert der gegenwärtige Forschungsstand. Dabei stellen sich u.a. folgende Fragen: Hat eine grundlagenorientierte Simulationsforschung stattgefunden? D.h. wurde die Methode weiterentwickelt? Konnte sich die Computersimulation als Methode in den Sozialwissenschaften etablieren? usw...

Im Folgenden wird eine Beantwortung dieser Fragen versucht.

4. ZUM GEGENWÄRTIGEN FORSCHUNGSSTAND

Die nach dem soeben skizzierten Höhepunkt vor allem in der Bundesrepublik Deutschland beginnende 'Ernüchterungsphase' bzgl. eines erfolgreichen Einsatzes der Computersimulation als eine Methode in den Sozialwissenschaften bewirkte zunächst tatsächlich, daß einige Wissenschaftler grundlagenorientierte Simulationsforschung betrieben, aber allerdings nur in Ansätzen. Demgegenüber wurde die CS in ihrem Ursprungsland USA, wie überhaupt im angelsächsischen Bereich, weiterhin ungebrochen angewendet.

So werden z.B. bereits seit Anfang der sechziger Jahre, insbesondere in der Politik- und Gesetzesplanung, Mikrosimulationssysteme zur Entscheidungsunterstützung als Planungsmodelle genutzt.

Exemplarisch ist auf zwei Modelle, Computersimulationsmodelle, hinzuweisen, die überaus erfolgreich von der US-Bundesregierung angewandt wurden bzw. werden und die darüber hinaus eine lange Reifungsphase und viele, z.T. auch anpassende Weiterentwicklungen durchgemacht haben.

So muß man in diesem Zusammenhang das «Transfer Income Model» (TRIM) bzw. seinen Nachfolger oder "seinen nachgebildeten Doppelgänger"¹ «Micro Analysis of Transfer to Households»-Modell (MATH) nennen. Als ge-

¹ DICKHOVEN, S.: Probleme bei der Einführung DV-gestützter Planungssysteme in die politische Planungspraxis. Ergebnisse einer empirischen Untersuchung in der amerikanischen und deutschen Bundesregierung, in: Müller, N./Stachowiak, H. (Hrsg.): Problemlösungsoperator Sozialwissenschaft. Anwendungsorientierte Modelle der Sozial- und Planungswissenschaften in ihrer Wirklichkeitsproblematik, Band II, Stuttgart 1987, S.146-172, S.154

neralisierte, statische Mikrosimulationsmodelle, mit denen die Auswirkungen von staatlichen Wohlfahrtsprogrammen auf die einzelne Person oder auf Einzelhaushalte detailliert untersucht werden können, haben beide einen gemeinsamen Vorgänger aus den späten sechziger Jahren, das «Reforms in Income Maintenance» (RIM)-Modell.

Dieses Modell war von der «Income Maintenance»-Kommission des damaligen amerikanischen Präsidenten entwickelt worden, konnte aber nicht fertiggestellt werden, so daß es nie vollständig zum Einsatz kam. TRIM und MATH sind demgegenüber erfolgreiche, in Bundesbehörden implementierte Planungsmodelle.

In der Bundesrepublik wurden ebenfalls Planungsmodelle für öffentliche Aufgaben entwickelt und z.T. sehr erfolgreich implementiert.

In diesem Zusammenhang ist exemplarisch auf das BAFPLAN-Modell der GMD (Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung) hinzuweisen. Dieses Mitte der siebziger Jahre für Planungs- und Analysezwecke im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Wissenschaft entwickelte Modell wird seit 1977 regelmäßig zur Untersuchung der Auswirkungen des Bundesausbildungsförderungsgesetzes und seinen Änderungen eingesetzt.

Das BAFPLAN-Modell ist ebenso wie die amerikanischen TRIM- oder MATH-Modelle mikroanalytisch ausgerichtet. Ein anderes bundesrepublikanisches Mikrosimulationsmodell stellt das SPES-Modell (Sozialpolitisches Entscheidungssystem) des Sonderforschungsbereichs 3 "Mikroanalytische Grundlagen der Gesellschaftspolitik" dar, das der Analyse und Simulation von Rechenmodellen für die Neugestaltung des Rentenversicherungssystems dient.

Allgemein kann festgehalten werden, daß in der Bundesrepublik Deutschland in einem im Vergleich zu den USA bescheidenerem Umfang und auch weniger erfolgreich Simulationsmodelle zu Planungszwecken implementiert wurden, was den Anlaß zur Initiierung eines deutsch/amerikanischen Projektes bildete, das das Ziel hatte, den qualifizierten Einsatz von solchen Computerplanungsmodellen in Politik und Verwaltung zu fördern.

Hintergrund für dieses Untersuchungsziel ist die Einschätzung des Simulationsverfahrens als eine Hilfe im Entscheidungsprozeß, wie z.B. von H.-J. Krupp, der diese "trial-and-error"-Simulationen als einzig mögliche Strategie der Politikberatung sieht:

"Simulationsverfahren entsprechen zwar nicht dem Idealmodell, wie es die Theorie der Wirtschaftspolitik entwickelt hat, entsprechen aber um so mehr dem Vorgehen in der politischen Realität. Auch hier geht man von konkreten Instrumentänderungen in konkreten Situationen aus. Interessant ist, welche Konsequenzen sich hieraus für die Ziele ergeben. Hält man die sich ergebenden Konsequenzen für nicht akzeptabel, wird man über eine Modifizierung der Instrumente nachdenken. Im politischen Prozeß kommt es weder zur Definition eines als gegeben hinzunehmenden Zielsystems, noch zur Berechnung

optimaler Instrumente. Daher sind Simulationsverfahren das geeignete Instrument zur Vorbereitung politischer Entscheidungen."²

Damit kann im Hinblick auf den gegenwärtigen Forschungsstand als erstes festgehalten werden, daß die Simulationsmethode zu Planungs- und Analysezwecken in der Politik verwandt wird, wobei sie eindeutig unter dem Aspekt der «wenn-dann-Aussagen» gesehen werden muß, was ihren Anspruch im Vergleich zu dem skizzierten Weltmodell viel bescheidener ausfallen läßt, sie aber dennoch nicht vollständig aus der Nachweispflicht bzgl. der Modellgültigkeit entläßt.

Betrachtet man darüber hinaus den Einsatzzweck, fällt auf, daß es sich durchgehend um sozio-ökonomische Mikromodelle handelt, so daß die Frage nach der Situation der Computersimulation in den Sozialwissenschaften noch nicht abschließend bzw. umfassend beantwortet ist.

Beschränkt man unter diesem Gesichtspunkt den Betrachtungsraum auf die Bundesrepublik Deutschland, offenbart nicht zuletzt die Literaturlage über den Entwicklungsverlauf von Mitte der siebziger Jahre bis zur Gegenwart, daß das Interesse an der Computersimulation in den allgemeinen Sozialwissenschaften, den eben

2 KRUPP, H.-J.: Grundlagen einer zielorientierten Alterssicherungspolitik, Einzelgutachten für die Wissenschaftlergruppe des Sozialbeirates, veröffentlicht durch das Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung, Bonn o.J., zit. von: Wagner, G.: Analysepotentiale und -grenzen der gegenwärtigen amtlichen und nicht-amtlichen Datenproduktion für einen 'Problemlösungsoperator Sozialwissenschaft', S.50 in: Müller, N./Stachowiak, H. (Hrsg.): Problemlösungsoperator Sozialwissenschaft. Anwendungsorientierte Modelle der Sozial- und Planungswissenschaften in ihrer Wirklichkeitsproblematik, Band II, Stuttgart 1987, S.41-125

skizzierten Grenzbereich zwischen Wirtschafts- und Sozialwissenschaften ausgeklammert, erlahmte, wohingegen in den Naturwissenschaften, wie schon erwähnt, ihre Etablierung voranschritt. In diesem Zusammenhang muß man aber betont werden, daß sich diese Aussage ausschließlich auf die reine Computersimulation bzw. auf die Maschinensimulation bezieht. Denn das computergestützte Planspiel wurde demgegenüber engagiert weiterentwickelt; ein Prozeß, der zum einen auch dadurch begünstigt wurde, daß unter methodischen Gesichtspunkten sehr viel weniger Ansprüche erfüllt werden müssen (Validität versus Plausibilität), zum anderen durch die Entwicklung und Verbreitung der preisgünstigen und leistungsstarken Personal Computer zusätzlich forciert wurde.

Letzteres gilt um so mehr im Hinblick auf Computerunterhaltungsplanspiele, was durch das vielfältige Software-Angebot an solchen Freizeitspielen, die zum Bereich der Planspiele in dem schon erläuterten Sinne gehören, belegt wird.

Dabei handelt es sich jedoch nur um einen Expansionszweig der Computerplanspiele. Der andere liegt im Bereich der wissenschaftlichen Planspiele, wie z.B. die Mensch-Maschine-Simulationen im Rahmen der Aus- und Fortbildung. Hier ist insbesondere auf die Aktivitäten des Forschungsinstitutes für öffentliche Verwaltung in Speyer (der dortigen Hochschule für Verwaltungswissenschaften angeschlossen) hinzuweisen, wo u.a. die schon früh begonnene Entwicklung von Simulationsmodellen (Planspiele) für die öffentliche Verwaltung fortgeführt wird.

Darüber hinaus gilt dort das Interesse auch den allgemeinen Entwicklungstendenzen auf dem Gebiet der Computersimulation, wie z.B. das von ihnen unter der Lei-

tung von Prof. Dr. Carl Böhret initiierte Forschungsseminar aus dem Jahre 1985 zeigt, das nicht auf die Diskussion der computergestützten Planspiele beschränkt war, sondern die allgemeinen Entwicklungstrends der Computersimulationsmethode aufzunehmen versuchte.

Dabei wurde die weiter oben schon angedeutete Einschätzung, daß sich im letzten Jahrzehnt bzgl. der Simulationsmethodik nicht viel geändert hat, explizit bestätigt.

Darüber hinaus richtete man in diesem Forschungsseminar auch das Augenmerk auf die Computerentwicklung bzw. insbesondere das Software-Angebot unter dem Gesichtspunkt des Nutzens für die Computersimulation. Die Einschätzung, daß die Hilfen durch die verfügbare Software erweitert worden sind, wird aber zugleich insofern relativiert, als daß auf die dieser Entwicklung immanenten Gefahr aufmerksam gemacht wird:

"Die Gefahr, die von der Faszination eleganter, vielleicht graphikunterstützter Modellsoftware gerade für den Praktiker ausgehen kann, sollte jedoch nicht unterschätzt werden. Sie besteht darin, daß genau das und auf die Weise simuliert wird, was und wie es die gerade vorhandene Software eben zuläßt, und nicht versucht wird, Grundannahmen und Ableitungsregeln zu formulieren, für die die vorhandene Software keine Unterstützung anbietet. Software zu entwickeln, die gleichzeitig flexibel und von mathematisch und in der Informatik wenig geübten Benutzern erfolgreich eingesetzt werden kann, dürfte schwer sein und lange dauern."³

In Koblenz wird unter der Leitung von Prof. Dr. Klaus G. Troitzsch am Lehrstuhl für sozialwissenschaftliche Informatik an der Erziehungswissenschaftlichen Hoch-

3 BÖHRET, C. (Hrsg.): Simulationsmodelle für die öffentliche Verwaltung, in: Speyerer Forschungsbericht Nr.52, Speyer 1986

schule Rheinland-Pfalz (Abteilung Koblenz) daran gearbeitet.

Angesichts der Tatsache, daß Prof. Troitzsch in einer anderen Veröffentlichung⁴ auch auf die wissenschaftstheoretischen Probleme der Simulationsmethode einging, auf die neuen Ergebnisse der Wissenschaftstheorie, speziell der strukturalistischen Schule, und deren Nutzen für die Computersimulation hinwies, läßt auf die Ergebnisse in Koblenz als einen auch methodisch vertretbaren Schritt zur Weiterentwicklung der CS hoffen.

Daher erscheint es verfrüht, sich an zu diesem Zeitpunkt sowohl mit der Theoriebildung, Modellierung und Simulation der Konzeption des "neuen Strukturalismus" als auch mit diesem wissenschaftstheoretischen Ansatz an sich differenziert auseinanderzusetzen.

Wenn im weiteren dennoch versucht wird, einen knappen Überblick über die allgemeinen Entwicklungsrichtungen der Computersimulation, wie sie anlässlich des 3. Nürnberger Symposiums zur sozialwissenschaftlichen Computersimulation vom 28. - 30. Juni 1988 vorgestellt worden sind, zu geben, so geschieht dies mit der Intention, einen ersten Eindruck zu vermitteln.

Die Themen der Vorträge und die Diskussionen des Symposiums zeigen sehr deutlich, daß weniger die methodischen, d.h. wissenschaftstheoretischen Probleme den Forschungsgegenstand oder -schwerpunkt bilden als vielmehr zum einen die Entwicklung von leicht zu handhabenden Simulationswerkzeugen, wie z.B. MIMOSE (Mikro- und MehrebenenModellierungsSoftwareEntwicklung)

4 TROITZSCH, K.G./MÖHRING, M.: Simulationsverfahren in den Sozialwissenschaften, a.a.O., S.433-447

"- Ein funktionale Sprache zur Beschreibung und Simulation individuellen Verhaltens in interagierenden Populationen"⁵ oder das Programmsystem IPMOS (Interacting Populations: Modelling and Simulation)⁶, sowie zum anderen die konkret fallbezogene Anwendung der Simulationsmethode (wie z.B. AIDS-Modelle⁷ oder dynamische Modelle verantwortlichen Handelns in sozialen Interaktionen⁸), ihre Ergebnisse (wie z.B. "Simulationsergebnisse zur Aufkommensentwicklung und Verteilungswirkung der Einkommenssteuer 1965 - 1990"⁹) und ihren Nutzen (wie z.B. "Zum Nutzen der Mikrosimulation in der Sozialstrukturanalyse"¹⁰).

Überdies wurden auch hier, wie schon anlässlich des Forschungsseminars in Speyer 1985, auf Anwendungsversuche der Katastrophentheorie auf nichtlineare und

5 MÖHRING, M.: MIMOSE - Eine Simulationssprache zur Beschreibung und Simulation individuellen Handelns in interagierenden Populationen, Symposiumsvortrag/Arbeitspapier, Nürnberg 1988

6 FLACHE, A./SCHMIDT, V.: Programmsystem IPMOS (Interacting Populations: Modelling and Simulation) - Computersimulation beliebiger Weidlich-Haag-Modelle, Symposiumsvortrag/Arbeitspapier, Nürnberg 1988

7 Vgl. WELCK, U.V.: AIDS-Spread Simulations and Projections (ASSP), Simulation der HIV-Verbreitung mit Hilfe dynamischer Modelle, Symposiumsvortrag/Arbeitspapier, Nürnberg 1988

Vgl. BACHER, J.: Was können wir von Aidsmodellen Lernen? Die Untersuchung der Sensitivität in "large-scale"-Systemen und ihren Konsequenzen, Symposiumsvortrag/Arbeitspapier, Nürnberg 1988

8 KREUTZ, H.: Emotionalität und Sachlichkeit. Ein dynamisches Modell verantwortlichen Handelns in sozialen Interaktionen, Symposiumsvortrag/Arbeitspapier, Nürnberg 1988

9 PETERSEN, H.-G.: Simulationsergebnisse zur Aufkommensentwicklung und Verteilungswirkung der Einkommensteuer 1965 - 1990, Symposiumsvortrag/Arbeitspapier, Nürnberg 1988

10 KLEIN, TH.: Zum Nutzen der Mikrosimulation in der Sozialstrukturanalyse, Symposiumsvortrag/Arbeitspapier, Nürnberg 1988

komplexe soziale Systeme und deren Nutzen im Hinblick auf eine qualitative Prognose aufmerksam gemacht. Diese Versuche verdeutlichen zugleich den seit Mitte der siebziger Jahre vollzogenen Anspruchswandel:

"Soziale Systeme sind immer wesentlich nichtlinear und immer so komplex, daß sie - im mathematischen Sinne - chaotisches Verhalten an den Tag legen können. Darum dürfte die Anwendung der Methoden zur Untersuchung komplexer nichtlinearer Systeme, wie sie in anderen Wissenschaften zur Zeit entwickelt werden, gerade in den Sozialwissenschaften besonders fruchtbar sein - wenn auch nicht für das Ziel, soziale Prozesse quantitativ vorherzusagen, denn dieser Ansatz, wie er Anfang der siebziger Jahre (Club of Rome: "Die Grenzen des Wachstums") fast euphorisch verfolgt wurde, ist nach heutigen Kenntnissen über nichtlineare Systeme zum Scheitern verurteilt. Inzwischen haben auch Wirtschafts- und Sozialwissenschaftler gelernt, daß aber qualitative Voraussagen auch in komplexen Systemen möglich sind: Hier wird untersucht, ob ein bestimmtes System anfällig für chaotisches Verhalten ist, auf welche Parameter diese Anfälligkeit zurückzuführen ist und wie das 'Ausbrechen des Chaos' verhindert werden kann."¹¹

Es kann also festgehalten werden, daß im Bereich der sozialwissenschaftlichen Computersimulation durchaus vielfältige Forschungsaktivitäten zu verzeichnen sind, deren Ergebnisse wahrscheinlich aber erst in nächster Zeit publiziert werden, was eine abschließende Bewertung des heutigen Stellenwertes bzw. der aktuellen Bedeutung dieser Methode in den Sozialwissenschaften zum gegenwärtigen Zeitpunkt als verfrüht erscheint läßt. Dennoch, nicht zuletzt das rege Interesse an diesem Symposium führt zu ersten Zweifeln an der Einschätzung

¹¹ TROITZSCH, K.G.: Methodische Probleme der sozialwissenschaftlichen Computersimulation, Symposiumsvortrag/Arbeitspapier, Nürnberg 1988

Böhrets aus dem Jahr 1985:

"Die aufwendige und für manche «esoterische» (Simulations-, B.W.) Methode wird keine große Verbreitung finden. Ihr Ansatzbereich bleibt eng begrenzt. Aber dort, wo komplexe Strukturen und komplizierte Vorgänge in ihren «Wesenszügen» durchdrungen, probenhalber verändert, gefahrlos und rücknehmbar Alternativen erprobt werden sollen, da überall kann die «innovative», entscheidungsvorbereitende Verwaltung auf solche Simulationen nicht verzichten. Zukünftige Problemlagen werden informiertere und zugleich mutigere Entscheidungen verlangen. Die Simulationsmethode bietet hierfür eine schon ideale Hilfestellung."¹²

Unabhängig davon, ob man sich der Ansicht von Böhret in allen Teilen anschließt, erscheint es sinnvoll einen schon angesprochenen Punkt aufzunehmen und weiterzuführen: die Entwicklung der Personal Computer (PC). Dabei interessiert, inwieweit der PC und seine zunehmende Verbreitung neue Simulationsmöglichkeiten geschaffen haben.

4.1. ZUR PC-ENTWICKLUNG

Die PC-Entwicklung ist zum einen dadurch gekennzeichnet, daß die Hardware im Laufe der Jahre immer kompakter, schneller und preiswerter wurde, so daß man sich Anfang der achtziger Jahre an den Preisverfall der Hardware gewöhnt hat.

"Bei entsprechender Entwicklung anderer Industriezweigen dürfte ein VW-Käfer nicht

12 BÖHRET, C. (Hrsg.): Simulationsmodelle für die öffentliche Verwaltung, a.a.O., S.4

mehr als 50 DM kosten und eine Boeing 767 nicht mehr als 1500 DM."¹³

"Wen wundert es noch, daß die Hardware-Preise im Jahr um 25%- 40% sinken?"¹⁴

Aber nicht nur der Preisverfall zeichnet sich für den 'Siegesszug', d.h. das Vordringen der PC's in alle Bereiche, verantwortlich.

So muß zum anderen die zunehmende Leistungsfähigkeit der PC durch den erhöhten Speicherplatz (ROM-Speicher) und die gesteigerte Datenverarbeitungskapazität (RAM-Speicher) als ein herausragendes Merkmal der PC-Entwicklung genannt werden.

Damit wurden nämlich die Voraussetzungen geschaffen, komplexe Rechenvorgänge, die zunächst nur Großrechnern möglich waren, auf dem PC durchzuführen.

Die gesteigerte PC-Leistungsfähigkeit wurde aber nicht nur zur Lösung immer komplexerer Algorithmen verwandt, vielmehr konnte ein Teil der vorhandenen Kapazität für eine größere Benutzerfreundlichkeit genutzt werden, was sich z.B. an dem vorhandenen, ständig expandieren Software-Angebot, das durch die in vielen Fällen angewandte Menütechnik auch den ungeübten Anwender weitgehend unterstützt, zeigt.

Diese Software erfüllt zwar immer höhere Ansprüche, was sich jedoch in steigenden Entwicklungskosten, bedingt durch die für diesen Bereich ausgeprägte Personalkostenintensität, niederschlägt, die allerdings durch den Massenabsatz aufgefangen werden können, so daß die Software tendenziell billiger wird.

13 KAIER, E.: BASIC-Wegweiser für IBM Personal Computer und Kompatible, Braunschweig 1986, S.3

14 Ebenda, S.4

Gleichzeitig ist dennoch eine Verschiebung der Kostenrelation zwischen Hard- und Software feststellbar.

"Man spricht schon von einer Kostenrelation von '20% für Hardware' gegenüber '80% für Software'".¹⁵

Damit kann festgehalten werden, daß die PC-Entwicklung durch eine enorm gestiegene Leistungsfähigkeit, durch eine in Folge des Preisverfalls der Hardware zunehmende Verbreitung der PC's und durch ein expandierendes Software-Angebot gekennzeichnet ist.

Fragt man in diesem Zusammenhang nach den der PC-Entwicklung immanenten Möglichkeiten im Hinblick auf die Computersimulation, so kann man zum einen auf die auch auf PC-Basis nutzbaren (und verfügbaren¹⁶) Simulationssprachen, wie z.B. DYNAMO, DYSIS oder DYSAS (System-Dynamics für PC) verweisen, oder aber einen anderen, sich direkt auf die Möglichkeiten eines PC's beziehenden Ansatz wählen, der allerdings im Vergleich zugegebenermaßen unkomfortabler, aber m.E. zugleich nachvollziehbarer erscheint.

In Abweichung zu den bisher üblichen Vorgehensweisen wird im Folgenden dieser Ansatz erklärt bzw. seine daran anschließende Nutzung vorbereitet.

15 KAIER, E.: BASIC-Wegweiser für ..., a.a.O., S.3

16 Anm.: Z.B. die in Koblenz entwickelten Simulationswerkzeuge bzw. Programmsysteme kann unter Einsatz eines PC's genutzt werden, ist jedoch zu diesem Zeitpunkt noch nicht allgemein zugänglich.

5. ARBEITSANSATZ

Ausgangspunkt zur Entwicklung dieses Ansatzes bildet die Tatsache, daß sich jede Programmiersprache, jedes Programm und damit auch jede Software, die als Information sowohl in Daten und Programme zu unterteilen ist, auf vier grundlegende Ablaufarten bzw. Programmstrukturen zurückführen lassen: die Folge, die Auswahl, die Wiederholung und das Unterprogramm.

So gelangt man bei der Analyse noch so umfangreicher Programme immer wieder zu diesen vier Programmstrukturen als Grundmuster.

"Zum anderen kann umgekehrt jeder zur Problemlösung erforderliche Programmablauf durch geeignetes Anordnen dieser vier Programmstrukturen konstruiert werden (Synthese von Programmen)."¹⁷

Unter diesen Programmstrukturen werden folgende Prozeduren gefaßt:

1. Folgestruktur

Jedes Programm besteht aus einer Aneinanderreihung von Anweisungen an den Computer. Kann bei der Analyse eines bestimmten Programms nur eine einzige Folgestruktur festgestellt werden, bedeutet dies, daß die Anweisungen nacheinander, also im unverzweigten Ablauf, vom Computer abgearbeitet werden. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von einem linearen oder Geradeaus-Ablauf oder von einer Sequenz.

2. Auswahlstruktur

Von Auswahlstrukturen spricht man, wenn in einem Programm aus einer Vielzahl von Möglichkeiten bestimmte Fälle oder ein bestimmter Fall ausgesucht werden kann. Derartige Strukturen können auch als Alternativstrukturen, Filter, Abläufe mit Verzweigungen oder aber als Selektionen bezeichnet werden.

3. Wiederholungsstruktur

Diese Strukturen, auch Repitionen und Iterationen genannt, führen zu Programmschleifen, die mehrmals bzw. beliebig oft innerhalb des Programmablaufs durchlaufen werden können. Die verschiedenen Schleifenmöglichkeiten, wie offene und geschlossene, abweisende und nicht-abweisende Schleife oder die einfache Zählschleife sollen an dieser Stelle lediglich erwähnt werden.

4. Unterprogrammstruktur

Wenn innerhalb eines Programms mehrmals dieselbe Aufgabe gelöst werden soll, bietet sich die Unterprogrammtechnik an.

Darunter versteht man eine Aufteilung eines Programms in Haupt- und Unterprogramm, wobei somit die Möglichkeit geschaffen wird, von jeder beliebigen Programmstelle aus das entsprechende Unterprogramm "anzuspringen", um nach seiner Abarbeitung ins Hauptmenü bzw. -programm zurückzugehen. Diese Technik dient der Übersichtlichkeit eines Programms und darüber hinaus zur Programmentwicklung im Team, wobei jeder Mitarbeiter

eigenständig und nur von der Aufgabenstellung abhängig einen eigenen Teil des Programms konstruieren kann.

Allen Programmstrukturen gemeinsam ist die Beantwortung der Frage, wie bestimmte, bereitgestellte Daten zu verarbeiten sind.

"Diese Strukturen mit ihren unterschiedlichen Ausprägungen können als Software-Bausteine aufgefaßt werden, da aus ihnen bausteinartig die zur Lösung eines Problems erforderlichen Abläufe gebildet werden."¹⁸

Im Hinblick auf die PC-Computersimulation können diese Programmstrukturen in verschiedener Hinsicht genutzt werden. So offenbart nicht zuletzt die Analyse existierender Computersimulationsmodelle - quasi in Analogie zu dem oben gesagten -, daß bei ihrer Entwicklung zur Lösung von bestimmten, immer wiederkehrenden Problemen dieselben Elementarprozesse zu simulieren sind, was also in gewisser Weise als eine bausteinartige Problemlösung aufgefaßt werden kann.

Dies legt die Vermutung nahe, daß zur Lösung eines Problems ein Computersimulationsmodell durch geeignetes Anordnen von Bausteinen simulierter Elementarprozesse, als Synthese also, konstruiert werden kann.

Nachfolgend sollen dementsprechend exemplarisch Bausteine entwickelt werden und zwar unter Zuhilfenahme einer Computersprache, die zum einen den Anspruch erfüllen soll, sehr leicht nachvollziehbare Programme, die auf den oben skizzierten Programmstrukturen als Grundmuster basieren, zu generieren und zum anderen sehr verbreitet ist.

Diesen Anforderungen wird die Computersprache BASIC nicht zuletzt unter dem Gesichtspunkt, daß sie als

18 KAIER, E.: BASIC-Wegweiser für ..., a.a.O., S.33

standardmäßige Software-Ausstattung oder als 'Einstieg in die Software-Welt' zu jedem IBM- oder IBM-kompatiblen PC mitgeliefert wird, gerecht.

II. BAUSTEINE DER PC-COMPUTERSIMULATION

Bei der Erstellung von Computersimulationsmodellen steht man vor ganz bestimmten, immer wiederkehrenden Erfassungs- oder Abbildungsproblemen. Vielfach gilt es u.a. Zufalls-, Wachstums-, und Diffusionsprozesse adäquat im Modell zu erfassen.

Zur Lösung dieser Probleme werden nachfolgend exemplarische Bausteine simulierter Elementarprozesse entwickelt. Dabei wird in einem ersten Schritt die theoretische Lösung des entsprechenden Problems geleistet. Anschließend wird auf der Basis der theoretischen Herleitung gezeigt, wie ein Zufalls-, Wachstums- und Diffusionsprozeß im Rahmen eines BASIC-Computerprogramms auf dem PC nachgebildet und, im Fall der Zufallsprozesse, zugleich statistisch überprüft bzw. erfaßt werden kann.

In einem letzten Schritt wird ein in BASIC programmierter Baustein mit Realbezug, d.h. ein Beispiel eines simulierten Elementarprozesses, vorgestellt und besprochen, wobei an dieser Stelle nochmals der exemplarische Charakter dieser Bausteine betont werden muß.

1. ZUFALLSPROZESSE

Computersimulationsmodelle basieren vielfach auf indeterministischen Modellen. Wie schon im ersten Teil der vorliegenden Arbeit erläutert, zeichnen sich diese Mo-

delle dadurch aus, daß bei Wiederholung des Modellablaufs mit identischen Eingabewerten variierende Resultate generiert werden, was auf Zufallseinflüsse bzw. Zufallsprozesse zurückgeführt wird. Als Beispiel kann man sich Computersimulationsmodelle vorstellen, die einen Beeinflussungs- oder Meinungsbildungsprozeß unter Berücksichtigung von Zufallsbedingungen untersuchen oder, weniger abstrakt, die ein Lotto- oder irgendein anderes Glücksspiel nachbilden.

Eine vollständige Erfassung dieses Untersuchungsgegenstandes oder Realitätsausschnittes impliziert die adäquate Abbildung der Zufallsgröße. Deshalb müssen diese Zufallseinflüsse im Rahmen der Computersimulation nachgebildet werden.

Ansichts der Tatsache, daß ein Computer ausschließlich deterministische Berechnungen vornehmen kann, stellt sich allerdings die Frage, ob ein stochastischer Prozeß deterministisch erfaßt werden kann.

Bevor nun auf die konkrete Lösung dieses Problems durch den PC eingegangen wird, muß zunächst die theoretische Herleitung der Lösung geleistet werden.

1.1. THEORETISCHE GRUNDLAGEN DER NACHBILDUNG VON STOCHASTISCHEN MODELLRELATIONEN IM COMPUTERSIMULATIONSMODELL

Indem die Modellrelationen mit Hilfe von Wahrscheinlichkeitsaussagen definiert werden, versucht man ihrer Indeterminiertheit Rechnung zu tragen (vgl. Kapitel I.2.1.1.4.). Zielführend erweist sich in diesem Zusammenhang die Tatsache, daß sich die Wahrscheinlichkeit

des Eintreffens eines Ereignisses aus seinem Verteilungsgesetz errechnen läßt.

Häufig ist aber gerade das Verteilungsgesetz einer Zufallsgröße unbekannt. Um in diesen Fällen Aufschluß darüber zu erhalten, muß versucht werden, das notwendige Datenmaterial in einer Stichprobe zu erheben¹.

Durch die Auswertung der Daten bzw. durch die Darstellung der relative Häufigkeiten von Ereignissen entweder in Form einer Häufigkeitstabelle oder z.B. eines Histogramms wird ein Eindruck vermittelt, mit welcher Wahrscheinlichkeit der einzelne Wert realisiert werden kann.

Zusätzlich läßt sich eine Stichprobe durch ihre Parameter, wie den Mittelwert und die Streuung, beschreiben bzw. kennzeichnen.

Aufgrund der Tatsache, daß diese Parameter bei Zufallsstichproben selbst ebenfalls Zufallsgrößen sind und ihrerseits einer statistischen Verteilung unterliegen, wird klar, daß Stichproben niemals exakte Resultate bereitstellen können. Aber sie gestatten z.B. Aussagen, mit welcher Wahrscheinlichkeit die Werte einer Stichprobe ein bestimmtes Intervall um den wahren Wert überschreiten (Konfidenzbereich oder Vertrauensintervall etc.), wobei die Aussagezuverlässigkeit mit wachsendem Stichprobenumfang steigt.

Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, den maximal zulässigen Zufallsfehler oder Stichprobenfehler² vor der Berechnung des notwendigen Stichprobenumfanges festzulegen.

Dabei sollte man sich, ohne auf die exakte mathematische Herleitung einzugehen, den Zusammenhang zwischen

¹ Anm.: Auf die damit verbundenen Probleme soll hier nicht eingegangen werden.

² TIEDE, M./VOß, W.: Induktive Statistik Teil 1, Köln 1977, S.142

Genauigkeit und Stichprobenfehler vergegenwärtigen: So impliziert eine Verdoppelung der Genauigkeit eine Vierfachung des Stichprobenumfanges.

"In den meisten Fällen wird die empirisch erhobene Verteilung der Merkmalswerte für die Konstruktion des Ereignisgenerators ausreichen. Gelegentlich mag es jedoch zweckmäßig sein, die empirische Verteilung durch die zugehörige theoretische Verteilung zu ersetzen."³

In einem ersten Schritt wird anhand der Häufigkeitstabelle eine Hypothese darüber entwickelt, welcher theoretischen Verteilung das untersuchte Merkmal entsprechen könnte. In Abhängigkeit zu den erfüllten Voraussetzungen⁴ erfolgt die Auswahl eines Testverfahrens.

Als ein relativ voraussetzungsarmes Verfahren bietet sich zur Überprüfung der Hypothese der Chi-Quadrat-Anpassungstest an.⁵

Im Chi-Quadrat-Anpassungstest stellt man die beobachteten Häufigkeiten des interessierenden Merkmals den

3 ELLENBERGER, H.: Grundlagen der Konstruktion ..., a.a.O., S.74f

4 So kann z.B. in Abhängigkeit zum Meßniveau des untersuchten Merkmals die Auswahl der Testverfahren erfolgen.

5 Als Voraussetzung für den Chi-Quadrat-Anpassungstest gelten die Modellvoraussetzungen der Multinomialverteilung. "Dies bedeutet: Bei einem Einzelzug muß jedes Stichprobenelement mit der von Zug zu Zug unveränderlichen Wahrscheinlichkeit p_i in die i -te Klasse fallen. Man setzt die Modellvoraussetzung am leichtesten durch, wenn man (bei großem Auswahlstz) das Modell mit Zurücklegen verwendet (was bei kleinem Auswahlstz unnötig wäre) und insbesondere die Unabhängigkeit bei der Stichprobenentnahme garantiert. Da das nominale Meßniveau ausreichend ist, läßt sich der Test auch mit Daten durchführen, deren Meßniveau höher ist. Allerdings müssen dann die Daten gruppiert werden. Für Daten derartiger Meßniveaus sind Verfahren bekannt, die die Informationen der Daten besser verwerten, als dies beim Chi-Quadrat-Anpassungstest der Fall ist." TIEDE, M./VOß, M.: Induktive Statistik Teil 2, a.a.O., S.41f

aufgrund der hypothetischen Verteilung zu erwartenden Häufigkeiten gegenüber.

Bezeichnet man die tatsächlich beobachteten absoluten Häufigkeiten mit b_i und die theoretisch zu erwartenden mit e_i sowie die Anzahl der gebildeten Klassen mit r , so lautet die Test- oder Prüfgröße:

$$U = \sum_{i=1}^r (b_i - e_i)^2 / e_i$$

Dabei ist U nur bei unendlich großem Stichprobenumfang chi-quadrat-verteilt.

"Günstig ist jedoch, daß die Fehler nicht groß sind, wenn man bereits bei endlichem Stichprobenumfang davon ausgeht, daß U einer Chi-Quadrat-Verteilung folgt. Man sollte dabei nur nicht die (ziemlich grobe) Faustregel verletzen"⁶, daß $e_i \geq 5$ sein muß für jedes $i=1, \dots, r$.

Aufgrund der Tatsache, daß die Prüfgröße U für große Stichprobenumfänge mit $r-1$ Freiheitsgraden angenähert chi-quadrat-verteilt ist, kann anhand der Chi-Quadrat-Tabelle die Signifikanz der berechneten Unterschiede beurteilt werden.

Dabei wird ein Unterschied als signifikant erachtet, wenn die Testgröße größer als ein durch das Signifikanzniveau und die Chi-Quadrat-Verteilung bestimmter Wert ist.

6 TIEDE, M./VOß, W.: Induktive Statistik Teil 2, a.a.O., S.41

1.1.1. ZUR SIMULATION VON WAHRSCHEINLICHKEITS- VERTEILUNGEN

Wenn die Wahrscheinlichkeitsverteilung einer Zufallsgröße oder -variablen X bekannt ist, können die einzelnen Werte x der Variablen durch Ziehen von Stichproben aus der vorgegebenen Verteilung gefunden werden.

Hierbei stellt sich nun das Problem, diese Stichproben mit relativ wenig Aufwand so zu bilden, daß sie die gewünschte statistische Verteilung möglichst gut darstellen.

Mit der Monte-Carlo-Methode liegt ein sehr leistungsstarkes numerisches Verfahren zur künstlichen Generierung von Zufallsprozessen vor. Sie basiert auf der Verwendung von Zufallszahlen zur Stichprobenentnahme bzw. besteht im wesentlichen in der Nachbildung des Eintretens von Zufallsereignissen, indem der Ereignisseintritt aus vorgegebenen Wahrscheinlichkeitsverteilungen durch die Verwendung mechanisch oder anders erzeugter Zufallszahlen bestimmt wird.⁷

Durch den Vergleich einer zwischen 0 und 1 gleichverteilten Zufallszahl mit der vorgegebenen "Übergangswahrscheinlichkeit" wird festgestellt, "ob für den

⁷ "Die meiste Verwirrung beim Unterschied zwischen Monte-Carlo-Methoden und Simulation stiftet die Anwendung von Zufallszahlen bei beiden." EMSHOFF, R.J./SISSON, L.S.: Simulation mit dem Computer, a.a.O., S.204

Wie hier angemerkt, ist die Monte-Carlo-Methode also nicht mit der CS gleichzusetzen, sondern kann bei der Analyse probabilistischer bzw. stochastischer Probleme ergänzend und verbindend angewendet werden. Nicht nur aus diesem Grund sollte von der Verwendung des Begriffes Monte-Carlo-Simulation abgesehen werden. So werden z.B. in der Literatur unter dieser Methode noch andere Verfahren subsummiert. Vgl. dazu HAMMERSLEY, J.M./HANDSCOMB, D.C.: Monte Carlo Methods, London 1964

konkreten Einzelfall in der Simulation der Übergang erfolgt"⁸.

Unterschreitet die Zufallszahl den Wert der Übergangswahrscheinlichkeit, erfolgt der Übergang, andernfalls erfolgt er nicht.

1.1.1.1. ZUR UMWANDLUNG VON ZUFALLSZAHLEN IN BELIEBIG VERTEILTE ZUFALLSVARIABLEN

Ein anderes Verfahren leistet ebenfalls die Umwandlung von Zufallszahlen in statistische Zufallsvariablen.

Mittelpunkt bildet dabei die Methode der inversen Transformation⁹, d.h. man macht sich die Tatsache zunutze, daß die im Intervall $(0,1)$ gleichverteilten Zufallszahlen in Werte transformiert werden können, die

8 WAGNER, G.: Mikrosimulation - ein neues Instrument für Sozialökonomische Analysen, in: Angewandte Informatik 1982, Heft 10, S.509

9 Für die Umwandlung einer Zufallszahl in eine statistische Zufallsvariable werden in der Literatur darüber hinaus noch die Abstreichmethode und die Rechtecknäherung genannt. Das bekannteste Verfahren ist jedoch die Methode der inversen Transformation. Sie läßt sich allerdings nur dann anwenden, wenn die interessierende Verteilung analytisch umgewandelt werden kann.

Vgl. EMSHOFF, R.J./SISSON, L.S.: Simulation mit dem Computer, a.a.O., S.212-216

jeder beliebigen Verteilung gehorchen können.¹⁰

Zur Durchführung der Transformation bildet man die Summenfunktion der ermittelten Wahrscheinlichkeiten $F(x)$, die im diskreten Fall ein stufenförmiges Aussehen aufweist, im stetigen Fall dagegen stetig verläuft.

Im Anschluß daran werden auf der Ordinatenachse die Realisationen der $(0,1)$ -rechteckverteilten Zufallszahlen abgetragen.

Oder:

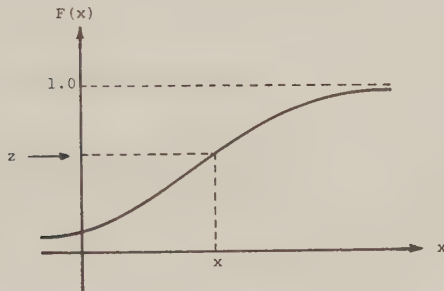
"Anschließend 'beschießt' man die Ordinatenachse mit den $(0,1)$ -rechteckverteilten Zufallszahlen z ."¹¹

Von dem so gewonnenen Ordinatenwert z ausgehend zeichnet man eine horizontale Gerade bis zum zugehörigen Funktionspunkt, von dort aus kann man auf den senkrecht darunterliegenden Wert x schließen.

¹⁰ "Da nach einem Satz der Wahrscheinlichkeitstheorie jede Wahrscheinlichkeitsdichte in die Rechteckverteilung mit den Grenzwerten Null und Eins verwandelt werden kann und umgekehrt, läßt sich durch Ziehen von Zufallszahlen im Bereich von 0 bis 1 eine Stichprobe gewinnen, deren Werte einer beliebig vorgewählten Wahrscheinlichkeitsverteilung angehören. Hierauf beruht die vorgestellte sogenannte Monte-Carlo-Technik ..." SACHS, L.: Angewandte Statistik: Statistische Methoden und ihre Anwendungen; zugleich 5., neubearbeitete und erweiterte Auflage der "Statistischen Auswertungsmethoden", Berlin - Heidelberg - New York 1978, S.191

¹¹ ELLENBERGER, H.: Grundlagen der Konstruktion und Auswertung..., a.a.O., S.76

Abb.11: Umwandlung von gleichverteilten Zufallszahlen in beliebig verteilte Zufallsvariablen



Hintergrund dieser Vorgehensweise bildet folgender mathematischer Zusammenhang:

Gegeben: $z_i, i=1,2,3\dots (0,1)$ - gleichverteilte Zufallszahlen

zu simulieren: Zufallsvariable X mit den Realisationen x_i für $i=1,2,3\dots$ und der Summen- oder Verteilungsfunktion $F(x)$

Transformation: Entspricht der Zufallsgröße X die Dichtefunktion $f(x)$, folgt die Zufallsvariable

$$Z = \int_{-\infty}^X f(x) dx$$

einer Gleichverteilung im Intervall $(0,1)$ bzw.

$$z_i = \int_{-\infty}^{x_i} f(x) dx$$

Ausgehend davon, daß die x_i interessieren, muß die Gleichung nach x_i aufgelöst werden. Hierbei nutzt man die Tatsache, daß der Term rechts vom Gleichheitszeichen der Summenfunktion $F(x_i)$ entspricht, die die Wahrscheinlichkeit dafür angibt, daß die Zufallsvariable X einen Wert, der kleiner oder gleich x_i ist, realisiert.

$$z_i = F(x_i)$$

Diese Gleichung läßt sich über die Umkehrfunktion (F^{-1}) nach x_i auflösen:

$$x_i = F^{-1}(z_i)$$

Beispiel für die Umwandlung einer in $(0,1)$ gleichverteilten Zufallszahl in eine exponentiell verteilte Zufallsvariable:

Z ist eine in $(0,1)$ gleichverteilte Zufallszahl; X ist eine exponential verteilte Zufallsvariable mit der

Dichtefunktion

$$f(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x} & \text{für } x \geq 0 \\ 0 & \text{für } x < 0 \end{cases}$$

und der Verteilungsfunktion

$$F(x) = \int_0^x \lambda e^{-\lambda x} dx = 1 - e^{-\lambda x}$$

Laut Inversionsmethode folgt:

$$z = 1 - e^{-\lambda x} \quad z_i = 1 - e^{-\lambda x_i}$$

Löst man diese Gleichung nach x_i auf, erhält man folgende Transformationsgleichung:

$$x_i = -1/\lambda \ln (1-z_i)$$

Da z im Intervall $(0,1)$ gleichverteilt ist, trifft dies auch für $1-z$ zu. Es gilt daher:

$$x = -1/\lambda \ln (z)$$

Diese Methode der Inversion kann auf alle beliebigen Verteilungen angewandt werden, sofern sie umkehrbar sind.

So ist z.B. die Normalverteilung aufgrund der Tatsache, daß das Integral ihrer Verteilungsfunktion nicht elementar lösbar ist, mit dieser Methode nicht zu behandeln. In diesem Fall wird auf andere Verfahren, wie z.B. die "log-and-trig"-Methode¹², ausgewichen, auf deren komplizierte Herleitung an dieser Stelle verzichtet wird.

Aus den bisherigen Überlegungen folgt, daß zur korrekten, d.h. vollständigen Konstruktion von stochastischen Modellen sowohl Zufallszahlen als auch Methoden der Umwandlung dieser Zufallszahlen in statistische Zufallsvariablen notwendig sind.

Da die Methoden der Umwandlung schon angesprochen worden sind, ist quasi der zweite Schritt schon vor dem ersten Schritt gemacht worden, was aber aus die Systematik der Herleitung der theoretischen Grundlagen resultiert.

Bleibt also die Frage, wie eine "Zufallszahlenquelle" gefunden werden kann. Dabei sollen die mechanischen Generierungsmöglichkeiten durch Zählung physikalischer Zufallerscheinungen (Würfeln o.ä.) und die Verwendung von Zufallszahlentabellen nicht berücksichtigt werden.

1.2. EIGENSCHAFTEN VON ZUFALLSZAHLEN

Im vorangehenden Kapitel wurde die Frage aufgeworfen, ob ein stochastischer Prozeß deterministisch nachgebildet werden kann.

¹² Vgl. BOX, G.E.P./MULLER, M.E.: A Note on the Generation of Random Number Deviates, in: Annals of Mathematical Statistics, 29, (1958), S.610-611

Die Entwicklung von Zufallsgeneratoren gibt eine erste Antwort. Hier wird von der Überlegung ausgehend, welchen Kriterien Zufallszahlen genügen müssen, ein deterministischer Prozeß entwickelt, mit dessen Hilfe als Resultat 'Pseudozufallszahlen'¹³ produziert werden können, die die Eigenschaften von Zufallszahlen hinreichend gut nachbilden.

Deswegen sind vor der Untersuchung spezifischer Methoden zur Generierung von Zufallszahlen, die Kriterien, denen diese Zahlen genügen müssen, vorzustellen.

So muß von einem Zufallszahlengenerator gefordert werden, daß er n diskrete Zahlen produziert, wobei jede dieser Zahlen die gleiche Realisationswahrscheinlichkeit, nämlich $1/n$, aufweist und die Generierung der Zufallszahlen unabhängig voneinander erfolgt.

Die so erzeugten Pseudozufallszahlen müssen also im statistischen Sinne gleichverteilte, unabhängige Variablen sein.

Zur Klärung der Frage, ob diese Kriterien von den Pseudozufallszahlengeneratoren hinreichend gut wiedergegeben werden, können entsprechende statistische Prüfverfahren herangezogen werden.

Zunächst sollen verschiedene mathematische Verfahren zur Erzeugung von Zufallszahlen und ihre entsprechenden statistischen Prüfverfahren vorgestellt werden.

13 Anm.: In der Literatur wird oftmals von Pseudozufallszahlen gesprochen, um die Tatsache ihrer deterministischen Generierung herauszustellen. Hintergrund bildet dabei die Tatsache, daß das Erzeugungsverfahren von Zufallszahlen, das in Abhängigkeit von den Startgrößen bzw. Vorgabewerten erfolgt, als Folge impliziert, daß bei Vorgabe derselben Startgrößen identische Zufallszahlen generiert werden. Nachfolgend werden die Begriffe Zufallszahlen- und Pseudozufallszahlengenerator synonym verwandt.

1.3. ZUFALLSZAHLENGENERATOREN

Im Laufe der Jahre wurde verschiedene Algorithmen zur Berechnung von Zufallszahlen entwickelt. Bei allen Algorithmen ergibt sich das Problem, daß sich die Zahlenfolge in Zyklen oder Perioden wiederholt.

Deswegen tritt zu der Forderung nach den guten statistischen Eigenschaften "noch die Forderung nach einer möglichst großen Periode der erzeugten Zahlenfolge, denn der Generator ist nur dann brauchbar, wenn sich die Zahlenfolge während eines Simulationslaufs nicht wiederholt"¹⁴.

Als einer der ersten Zufallszahlengeneratoren ist die auf Neumann und Metropolis zurückgehende mid-square- oder Mittelquadratmethode zu nennen. Dieses relativ einfache Verfahren nahm zur Generierung einer n-stelligen Zufallszahl die mittleren n Ziffern des Quadrates der vorhergehenden Zufallszahl.

Aufgrund der unbefriedigenden stochastischen Qualität der von ihm gelieferten Zufallszahlenfolge sowie einer zu kurzen Zykluslänge wird diese Methode kaum noch angewendet.

1.3.1. DIE ZUFALLSZAHLENGENERATOREN DER MULTIPLIKATIVEN KONGRUENZMETHODE

Die weitaus bekannteren und leistungsfähigeren Verfahren, die die Mittelquadratmethode ersetzt haben, basieren auf der erstmals von Lehmer vorgeschlagenen

¹⁴ KRÜGER, S.: Simulation ..., a.a.O., S.108

multiplikativen Kongruenzmethode und werden in der Literatur als "Lehmer-Generatoren" bezeichnet.

Ein reiner Lehmer-Generator, der nur die multiplikative Kongruenzmethode verwendet, ist gegeben durch:

$$X_{n+1} = aX_n \pmod{m}$$

Diese Formel bedeutet: durch Multiplikation der letzten Zufallszahl X_n mit der Konstanten a erhält man das Resultat nach dem Modul m , d.h. das Ergebnis der Multiplikation wird durch m dividiert und der Rest X_{n+1} , als nächsten Zufallszahl, zugewiesen.

Damit ergibt sich ein Wertebereich der so erzeugten gleichverteilten Zufallszahlen zwischen 0 und $m-1$.

Durch die Division durch m werden Zufallszahlen Y_n gebildet, die zwischen 0 und 1 liegen¹⁵.

$$Y_n = \frac{X_n}{m}$$

Wie der Formel zu entnehmen ist, gilt folgender Zusammenhang: Wird m sehr groß gewählt, nähern sich die Zahlen Y_n einer stetigen Verteilung über dem Intervall $(0,1)$.

15 Anm.: In der Literatur wird allerdings nicht darauf eingegangen, daß Y_n niemals den Wert 1 realisieren kann, weil sie aus Zufallszahlen berechnet werden, die maximal einen Wert von $m-1$ annehmen können.

"Ein sehr einfaches Beispiel für einen Lehmer-Generator ist:

$a = 5$, $m = 64$, $x_0 = 1$:

$x_0 = 1$, $x_1 = 5$, $x_2 = 25$, $x_3 = 61$, $x_4 = 49$, $x_5 = 53$,
 $x_6 = 9$, $x_7 = 45$, $x_8 = 33$, $x_9 = 37$, $x_{10} = 57$, $x_{11} = 29$,
 $x_{12} = 17$, $x_{13} = 21$, $x_{14} = 41$, $x_{15} = 13$, $x_{16} = 1$,
 $x_{17} = 5 \dots$ "¹⁶

Wie aus dem Beispiel ersichtlich, ergibt sich in Abhängigkeit zu den Größen von a , m und x_n auch hier das Problem der Zykluslänge. Dies führte in der Literatur unter dem Gesichtspunkt einer möglichst langen Periode zu zahlentheoretischen Überlegungen über die Auswahlkriterien für die genannten Faktoren.¹⁷

Dabei spielen auch rechnerische Vorteile im Computer eine Rolle. So wird vorgeschlagen, um die Rechengeschwindigkeit bei binär rechnenden Computern zu erhöhen, m als Potenz zur Basis 2, d.h. also $m=2^p$, zu wählen, wobei p in Abhängigkeit zur Standwortlänge des verwendeten Computers in Bits festgelegt werden soll.

"Wählt man nämlich p gerade gleich der Wortlänge (in bit) von binär rechnenden Computern, so ergibt sich als Residuum der Multiplikation mod 2^p automatisch ohne weitere Rechenoperation durch den Überlauf im entsprechenden Register."¹⁸

Die Zufallszahlenfolge hat dann eine maximale Zykluslänge von 2^{p-2} . Damit die Korrelation zwischen den Zufallszahlen relativ klein wird, sollte der Faktor a

16 KRÜGER, S.: Simulation ..., a.a.O., S.108

17 Ebenda, S.108f

18 Ebenda, S.109

ungefähr im Bereich von $2^{p/2}$ liegen und darüber hinaus bei der Division durch 8 den Rest von $-/+3$ ergeben.¹⁹

1.3.2. DIE ZUFALLSZAHLGENERATOREN DER ADDITIVEN KONGRUENZMETHODE

Im Gegensatz zu der zuvor beschriebenen Methode wird unter Verwendung der additiven Kongruenzmethode zur Erzeugung der neuen Zufallszahl nicht nur die letzte, sondern auch die vorletzte Zufallszahl herangezogen.

$$X_{n+1} = (X_n + X_{n+1-b}) \pmod{m}$$

Bei diesem Verfahren müssen also b Zufallszahlen vorab zur Verfügung gestellt werden. Dabei sollte im Hinblick auf eine hinreichende Zufälligkeit der Zahlenfolgen $b > 15$ sein.

Der offensichtliche Vorteil dieses Verfahrens liegt in der generierten großen Periodenlänge, die sogar größer als m werden kann (theoretische Maximallänge = m^b).²⁰ Dieser Vorteil wird aber durch die relativ hohe Korrelation zwischen den Zufallszahlen geschmälert.²¹

19 KRÜGER, S.: Simulation ..., a.a.O., S.109

Vgl. MIHRAM, G.A.: Simulation, Statistical Foundations and Methodology, New York 1972, S.52

20 ELLENBERGER, H.: Grundlagen der Konstruktion und Auswertung..., a.a.O., S.80

21 WEBER, R.: Erzeugen von Zufallszahlen auf einem Rechenautomaten, in: Institut für Datenverarbeitung Dresden (Hrsg.): Simulationsmodelle für ökonomisch-organisatorische Probleme, Berlin 1968, S.201

1.3.3. DIE ZUFALLSZAHLGENERATOREN DER GEMISCHTEN KONGRUENZMETHODE

In der gemischten Kongruenzmethode werden sowohl additive als auch multiplikative Elemente eingesetzt:

$$X_{n+1} = aX_n + c \pmod{m}$$

Wie aus der Formel ersichtlich, wird hier die schon vorgestellte multiplikative Kongruenzmethode als Sonderfall für $c=0$ subsummiert.

Deswegen gelten die zahlentheoretischen Überlegungen für die Auswahl von a und m auch bei der gemischten Methode.

Darüber hinaus wird vorgeschlagen, daß die additive Konstante c und m keinen gemeinsamen ganzzahligen Teiler außer 1 aufweisen sollten.

Bei einer Gegenüberstellung der beiden üblicherweise verwendeten Kongruenzmethoden, der gemischten und der multiplikativen, stellen Emshoff und Sisson unter Verweis auf Chambers (1967) fest:

"1. Die gemischte Methode verfügt über einen längeren Zyklus. 2. Die multiplikative Methode besteht mehr Prüfungen auf statistische Zufälligkeit. 3. Die multiplikative Methode ist üblicherweise schneller (dies hängt jedoch von der verwendeten Maschine ab)."²²

²² EMSHOFF, R.J./SISSON, L.S.: Simulation mit dem Computer, a.a.O., S.210

Anm.: Die Zykluslänge der beiden Verfahren verhält sich 2^P zu 2^{P-2} .

1.3.4. ZUFALLSZAHLENGENERATOREN DER PROGRAMMIERSPRACHEN

Viele Programmiersprachen verfügen über Sprachelemente zur Generierung von Pseudozufallszahlen, z.B. RND (Random) in der Programmiersprache BASIC oder random in PASCAL.

Grundlage für die intergrierten Zufallszahlengeneratoren bildet eine Zahl z , die entweder vom Benutzer vorgegeben wird oder vom Computer unter Verwendung irgendwelcher innerer Zustände, wie z.B. die Maschinenzeit, bestimmt wird.

Die kontinuierliche Veränderung von z aufgrund bestimmter Formeln liefert die Zufallszahlenfolge. Diese Formel entspricht in den meisten Fällen der schon vorgestellten gemischten Kongruenzmethode, was folgendes Beispiel für einen PASCAL-Zufallszahlengenerator veranschaulicht:

```
function zufall (var z: integer): real;  
const a = 897; c = 2111;  
      p = 123456  
  
begin  
    z := (a*z+c) mod p;  
    zufall := z/p  
end;
```

Ohne auf eine detaillierte Programmbeschreibung einzugehen, zeigt sich hier deutlich, daß die gemischte Kongruenzmethode Anwendung findet.

Aufgrund der Tatsache, daß man in vielen Testläufen feststellen konnte, je kleiner p und c gewählt wurden,

desto schlechter ist der Generator, suchte man nach geeigneten Zahlen für p , c und a . Dabei sollen sich folgende Zahlen bewährt haben:

$$a = 513$$

$$c = 29.741.096.258.473$$

$$p = 2^{48}$$

Wenn man also die von den Programmiersprachen zur Verfügung gestellten Generatoren nutzt und darüber hinaus die Möglichkeit der Wahl zwischen der Vorgabe von z und der Erzeugung des Startwertes durch den Zugriff auf die Maschinenzeit hat, sollte man letzteres favorisieren.

Wenn nämlich die Maschinenzeit in Sekunden oder sogar kleineren Einheiten eingeteilt ist, wird die Wahrscheinlichkeit der Vorgabe eines identischen Startwertes verringert, so daß bei jedem Lauf verschiedene Zahlenfolgen generiert werden können, was dem Kriterium der Zufälligkeit weitgehend entspricht.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß jede der vorgestellten Methoden ihre Vor- und Nachteile hat, also keine generell der anderen vorgezogen werden kann.

Sieht man von der Schnelligkeit der Berechnung und der verschiedenen Zyklenlänge ab, unterscheiden sie sich, wie z.T. schon angesprochen, in der stochastischen Qualität der generierten Zufallszahlen. Diese lassen sich mit verschiedenen statistischen Prüfverfahren im Hinblick auf ihren signifikanten Unterschied von echten Zufallszahlen untersuchen. Dabei sind die eingangs vorgestellten Kriterien, denen Zufallszahlen genügen müssen, zielführend.

Dementsprechend gibt es zwei Kategorien statistischer Prüfverfahren: die Anpassungstests, die die Vertei-

lungsfunktion der generierten Zufallszahlen auf Gleichverteilung untersuchen und die verschiedenen Tests auf Zufälligkeit der erzeugten Zahlenfolge.

Nachfolgend werden einige der verbreitesten und wichtigsten Prüfverfahren nach einem bestimmten Schema (Testhypothese, Testablauf, Stichprobenverteilung und Testentscheidung) vorgestellt.

Aufgrund der Tatsache, daß die im Folgenden vorgestellten Testverfahren auch im Hinblick auf eine Modellvaliditätsprüfung, also nicht nur bei Zufallsprozessen, wichtig sind, werden sie relativ ausführlich beschrieben.

Ohne bei jedem Test noch einmal darauf einzugehen, wird vorab daran erinnert, daß man, unabhängig vom Einsatzbereich der Prüfverfahren, bei der Interpretation der Testergebnisse beachtet, welche richtigen und falschen Schlußfolgerungen bei einem Signifikanztest erfolgen können²³.

1.4. STATISTISCHE TESTVERFAHREN ZUR PRÜFUNG VON ZUFALLSZAHLENGENERATOREN

Zur Prüfung der Frage, ob eine generierte Pseudozufallszahlenfolge den Kriterien der Zufälligkeit genügt, sind verschiedene Verfahren entwickelt worden, die z.T. in der Literatur ziemlich detailliert vorge-

23 Anm.: Hier soll auf die Möglichkeiten, eine durchaus zutreffende (Null-)Hypothese irrtümlich zu verwerfen, was dem Fehler der 1.Art entspricht, oder aber eine in Wahrheit falsche (Null-)Hypothese zu akzeptieren, was als Fehler der 2.Art bezeichnet wird, hingewiesen werden. Vgl. TIEDE, M./VOß, W.: Induktive Statistik Teil 1, a.a.O., S.173ff

stellt werden. Allen entsprechenden Ausführungen ist die Tatsache gemeinsam, daß keine Aussagen über das Skalenniveau von Zufallszahlen gemacht werden. Dies legt die Vermutung nahe, daß die Auswahl der Prüfverfahren in Abhängigkeit von den inhaltlichen Zuordnungen durch den Benutzer zu sehen ist.

1.4.1. TESTVERFAHREN ZUR ÜBERPRÜFUNG DER ANPASSUNG EINER BEOBACHTETEN AN EINE THEORETISCHE VERTEILUNG - "GOODNESS OF FIT"-TEST

a) der Chi-Quadrat-Anpassungstest auf Gleichverteilung

Ein sehr bekanntes Verfahren, der Chi-Quadrat-Anpassungstest, wurde weiter oben schon angesprochen. Dieser Anpassungstest prüft, ob Merkmalswerte (Zufallszahlen) mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit auftreten.

Testhypothese: Die vorliegenden, erzeugten Zufallszahlen sind gleichverteilt.

Testablauf: Das Intervall $(0,1)$ wird in k Klassen mit der jeweiligen Klassenbreite von $1/k$ aufgeteilt. Anschließend werden die erzeugten Zufallszahlen, die beobachteten Werte (b_i) , den entsprechenden Klassen zugeordnet.

Der Erwartungswert (e_i) jeder einzelnen Klasse bei einer Stichprobe vom Umfang n beträgt n/k . Die beobachteten werden den hypothetischen nach dem schon vorgestellten Procedere gegenübergestellt (vgl. Kapitel

II.1.2.) und die Prüfgröße U wird nach folgender Formel berechnet:

$$U = \sum_{i=1}^K (b_i - e_i)^2 / e_i$$

Stichprobenverteilung: Die Prüfgröße folgt einer Chi-Quadrat-Verteilung mit k-1 Freiheitsgraden.

Testentscheidung: Wenn U größer als der entsprechend in Abhängigkeit der Freiheitsgrade und des Signifikanzniveaus tabellierte Rückweisungspunkt ist, wird die Hypothese abgelehnt.

b) Der Kolmogoroff-Smirnow-Anpassungstest im Ein-Stichprobenfall

Ein mit dem Chi-Quadrat-Anpassungstest konkurrierendes Verfahren ist der Kolmogoroff-Smirnow-Anpassungstest. Strenggenommen setzt dieser verteilungsfreie Test eine stetige Verteilung voraus. In der Literatur wird jedoch verschiedentlich darauf hingewiesen, daß er dennoch bei diskreten Verteilungen anwendbar ist.²⁴ Der

24 Dies Ansicht vertreten z.B. Sachs und Conover. Vgl. SACHS, L.: Angewandte Statistik..., a.a.O., S.256; CONOVER, W.J.: A Kolmogorov goodness-of-fit-test for discontinuous distributions. Journal of American Statistical Association 67 (1972), S.591-596 Demgegenüber weisen Tiede/Voß darauf hin, daß dieses Verfahren eigentlich metrisch skalierte Untersuchungsvariablen voraussetze, aber auch bei ordinalskalierten gute Ergebnisse liefere, wenn zumindest die Stetigkeit der Untersuchungsvariablen gewährleistet sei. TIEDE, M./VOß, W.: Induktive Statistik Teil 2, a.a.O., S.80 Ähnlich BRÜNING, H./TRENKLER, G.: Nichtparametrische Methoden, Berlin - New York 1978, S.85-92, S.100

Kolmogoroff-Smirnow-Test prüft, ob die Stichprobe einer bestimmten Verteilung entstammt.

Testhypothese: Die generierten Zufallszahlen stammen aus einer gleichverteilten Grundgesamtheit.

Testablauf: Im Gegensatz zum Chi-Quadrat-Anpassungstest erfolgt hier nicht mehr der Vergleich der beobachteten und theoretischen Absoluthäufigkeiten miteinander, sondern der der absoluten Summenhäufigkeiten. Für jede Klasse wird die Differenz zwischen der beobachteten und der theoretisch erwarteten Summenhäufigkeit berechnet.

Nach dem Größenvergleich der Differenzen, bildet man die Prüfgröße durch Division der maximalen Absolutdifferenz durch den Stichprobenumfang n .

$$D = 1/n * (|F_b(x) - F_e(x)|)$$

Stichprobenverteilung: Die Stichprobenverteilung von D wird in einigen Lehrbüchern hergeleitet; meist werden jedoch kritische Werte für D in tabellierter Form vorgegeben.

Testentscheidung: Wenn der Prüfquotient nicht einen bestimmten tabellierten Wert überschreitet, wird die Testhypothese beibehalten.

c) Chi-Quadrat- versus Kolmogoroff-Smirnow-Anpassungstest

Da beide Verfahren sowohl Vor- als auch Nachteile aufweisen, herrscht in der Literatur Uneinigkeit bzgl. einer abschließenden Bewertung.²⁵

Meist wird empfohlen, dem Kolmogoroff-Smirnow-Test bei kleinem Stichprobenumfang den Vorzug zu geben, weil er nicht an eine Mindestbesetzungszahl der Klassen gebunden ist.

1.4.2. PRÜFVERFAHREN ZUR UNTERSUCHUNG DES ZUFALLSCHARAKTERS VON GENERIERTEN ZUFALLSZAHLEN

Wie schon angesprochen, können zur Klärung der Frage, ob die Zufallszahlengeneratoren gleichverteilte und unabhängige Zahlen produzieren, statistische Verfahren herangezogen werden.

Nachdem die statistischen Methoden zur Untersuchung von Verteilungshypothesen besprochen worden sind, gilt nun das Interesse den Prüfverfahren, deren Gegenstand die Unabhängigkeit der generierten Pseudozufallszahlenfolgen bildet.

a) Sequenzanalyse

In diesem Testverfahren, auch als Iterations-, Phasen- oder Runtest bezeichnet, wird die Zufälligkeit der

²⁵ Vgl. BRÜNING, H./TRENKLER, G.: Nichtparametrische Methoden, a.a.O., S.100; Vgl. TIEDE, M./VOß, W.: Induktive Statistik Teil 2, a.a.O., S.80

Aufeinanderfolge identischer Symbole untersucht.

"Eine Sequenz ist definiert als eine Aufeinanderfolge identischer Symbole, denen andere oder gar keine Symbole vorangehen bzw. folgen."²⁶

Testhypothese: Die Zufallszahlenfolge ist zufällig.

Testablauf: Bei (0,1)-gleichverteilten Zufallszahlen liegen genauso viele Werte oberhalb wie unterhalb des Medians, der den Wert 0.5 aufweist. Jeder Zufallszahl, die größer als der Median ist, ordnet man nun ein Pluszeichen zu und entsprechend jeder Zufallszahl, die kleiner als 0.5 ist, ein Minuszeichen.

Ausgehend von der Definition einer Sequenz eines Symbols, kann man r als Anzahl der Sequenzen bestimmen.

Ferner werden mit n_1 und n_2

die Anzahl der oberhalb bzw. unterhalb des Medians beobachteten Werte bezeichnet. Damit kann die Prüfgröße Z (für große Stichproben²⁷) berechnet werden.

$$Z = \frac{r - \mu_r}{\sigma_r} = \frac{r - ((2n_1n_2/n_1+n_2)+1)}{\sqrt{(2n_1n_2(2n_1n_2-n_1-n_2)/((n_1+n_2)^2(n_1+n_2-1)))}}$$

Stichprobenverteilung: Bei großen Stichproben ist die Prüfgröße Z angenähert normalverteilt.

26 SIEGEL, S.: Nichtparametrische statistische Methoden, Frankfurt am Main 1976, S.51

27 Anm.: Um das Periodenproblem in die Prüfung durch die statistischen Verfahren mit einzubeziehen, empfiehlt es sich nur relativ große (größer als $n=50$) Stichproben zu testen.

Testentscheidung: Bei einem Vergleich der Prüfgröße Z mit dem aus der Standardnormalverteilung zu entnehmenden Rückweisungspunkt führt eine Überschreitung des Rückweisungspunktes (wenn also $z > k$) zu einer Ablehnung der Testhypothese.

b) Der Serientest als Test auf paarweise Unabhängigkeit

Der Chi-quadrat-basierte Serien-Test kann als Verallgemeinerung des Gleichverteilungstests bezeichnet werden.

Hier wird die Frage nach der Unabhängigkeit der Zufallszahlenfolgen untersucht.

"Es wird überprüft, ob auch identische Serien aufeinanderfolgender Zahlen $Y_i, Y_{i+1}, Y_{i+2}, \dots, Y_{i+e}$ unabhängig und gleichmäßig verteilt sind, was in einer echten Zufallszahlenfolge zu erwarten ist."²⁸

Testhypothese: Identische Serien aufeinanderfolgender Zufallszahlen sind unabhängig und gleichmäßig verteilt.

Testablauf: Überprüft man z.B. 2-er Serien, also Paare, wird in einem ersten Schritt das Intervall $(0,1)$ in k Klassen unterteilt.

Jeder generierten Zufallszahl wird die Nummer der entsprechenden Klasse zugeordnet. Damit kann jedes Zufallszahlen-Paar durch das Paar ihrer Klassennummern

eindeutig identifiziert werden. Es gilt also: $(Y_i, Y_{i+1}) = (a, b)$, wenn Y_i zur Klasse a und Y_{i+1} zur Klasse b gehört.

Ausgehend davon, daß für k Klassen k^2 verschiedene Kombinationen existieren, wird in dem hier einsetzenden Chi-Quadrat-Test aus jeder Kombinationsmöglichkeit eine neue Klasse gebildet, der nun die in der Stichproben auftretenden Paare zugeordnet werden.

Die beobachteten Häufigkeiten werden anschließend mit den hypothetischen, also mit dem Erwartungswert bei zugrundegelegter Gleichverteilung der Paare von n/k^2 , verglichen und die Prüfgröße U wird berechnet.

Stichprobenverteilung: Die Prüfgröße folgt einer Chi-Quadrat-Verteilung mit $k-1$ Freiheitsgraden.

Testentscheidung: Wenn U größer als der entsprechend in Abhängigkeit der Freiheitsgerade und des Signifikanzniveaus tabellierte Rückweisungspunkt ist, wird die Hypothese abgelehnt.

Über die hier vorgestellten hinaus gibt es noch verschiedene andere Prüfverfahren, wie z.B. den Gap-Test, der die Abstände untersucht, nach welchen eine bestimmte Ziffer wiederkehrt oder der Poker-, der Maximum- und der Permutationstest²⁹.

Ohne auf diese Testverfahren vertiefend einzugehen, ist festzuhalten, daß mit bestimmten statistischen Verfahren deterministisch generierte Zufallszahlen darauf überprüft werden können, ob sie gleichverteilt und unabhängig voneinander sind.

29 Vgl. KRÜGER, S.: Simulation ..., a.a.O., S.111f

Damit ist die theoretische Herleitung zur Lösung der Frage, ob eine stochastischer Prozeß deterministisch erfaßt werden kann, geleistet.

1.5. DAS PROGRAMM "Zufallsprozesse"

Wie aus den bisherigen Ausführungen ersichtlich, spielen Zufallsprozesse in der CS eine bedeutende Rolle. Zur Lösung des Problems, diesen Zufallsprozeß adäquat in eine PC-Simulationsmodell einbringen zu können, wird nun ein erstes BASIC-Programm entwickelt.

Dieses Programm zur Generierung von Zufallszahlen auf der Grundlage von zwei verschiedenen Zufallszahlengeneratoren, dem Lehmer-Generator und dem BASIC-internen Zufallszahlengenerator RND (Random), umfaßt darüber hinaus die entsprechenden statistischen Prüfverfahren.

In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, daß sowohl die Auswahl der Zufallszahlengeneratoren wie auch die der statistischen Testverfahren, der Chi-Quadrat-Anpassungs- und der Iterationstest, exemplarisch und nicht favorisierend anzusehen ist.

Die Hinzunahme des Basic-internen Zufallszahlengenerators RND erfolgte, um ihn als konkurrierendes Verfahren vorzustellen und gleichzeitig auf seine Güte zu überprüfen.

a) Programmliste

```

5 CLS
10 REM Baustein 'Zufallsprozeß'
20 PRINT"Dies ist ein Baustein, der nach zwei
   verschiedenen Verfahren Zufalls-"
30 PRINT"zahlen generiert und die Ergebnisse mit
   statistischen Prüfverfahren"
40 PRINT"testet."
50 DIM B(11), E(11), D$(10)
60 PRINT:PRINT:PRINT:PRINT
70 PRINT"Zufallszahlengeneratoren und statistische
   Prüfverfahren":PRINT:PRINT
80 PRINT"Wahlmöglichkeit (1): RND-Generator":PRINT
90 PRINT"Wahlmöglichkeit (2): Lehmer-Generator
   ":PRINT:PRINT:PRINT
100 INPUT"wählen Sie (1) oder (2) ";W
110 IF W=1 GOTO 130
120 IF W=2 GOTO 280
130 CLS:PRINT"Dieses Programm benutzt den BASIC-
   internen Zufallszahlengenerator"
140 PRINT"RND zur Erzeugung von Zufallszahlen zwischen
   0 und 1."
150 PRINT"Anschließend wird die Approximationsgüte an
   die Gleichverteilung"
160 PRINT"sowie der Zufälligkeit der Zahlenfolge
   geprüft.":PRINT:PRINT:PRINT
170 INPUT"Weiter mit Return";A$
180 CLS:PRINT"Aus der Serie von "; (S+1)*80;
   "Zufallszahlen die letzten 80 Werte":PRINT
190 RANDOMIZE TIMER
200 FOR I=1 TO 80:B$="-"
210 Y=RND:PRINT Y;" ";
220 IF Y>.5 THEN B$="+":P=P+1
230 C$=C$+B$:FOR J=0 TO 9
240 IF Y>=J*.1 AND Y<(J+1)*.1 THEN B(J)=B(J)+1:
   GOTO 260
250 NEXT J
260 NEXT I
270 GOTO 480
280 CLS
290 PRINT"Dieses Programm benutzt den Lehmer-Generator
   zur Erzeugung von"
300 PRINT"Zufallszahlen zwischen 0 und 1, prüft die
   Approximationsgüte"
310 PRINT"an die Gleichverteilung bei
   unterschiedlichen Stichprobenumfängen"
320 PRINT"sowie die generierte Zahlenfolge auf
   Zufälligkeit."
330 PRINT:PRINT:PRINT
340 M=1113
350 A=2^(12-2)*.5*(SQR(5)-1):GOTO 360

```

```

360 INPUT "Bitte geben Sie den Startwert  X (z.B.: 1)
    ein : ";X
370 CLS:PRINT"Aus der Serie von ";(S+1)*80 ;"
    Zufallszahlen die letzten 80 Werte:":PRINT
380 FOR I=1 TO 80 :B$="-"
390 X1=A*X:X2=X1/M:X3=INT(X2):X4=X3*M:X=X1-X4
400 Y=X/M
410 PRINT Y;" ";
420 IF Y>.5 THEN B$="+":P=P+1
430 C$=C$+B$
440 FOR J=0 TO 9
450 IF Y>=J*.1 AND Y<(J+1)*.1 THEN B(J)=B(J)+1:
    GOTO 470
460 NEXT J
470 NEXT I
480 PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT
490 INPUT"Weiter mit Return";A$
500 CLS:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT
510 PRINT"Häufigkeitstabelle:                B(J)
    E(J)":PRINT
520 FOR J=0 TO 9
530 E=(S+1)*80 /10:D=B(J)-E:D=D/D/E=U+D
540 PRINT J*.1;" bis unter ";(J+1)*.1,B(J),E
550 NEXT J
560 PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT
570 PRINT"Prüfgröße des Chi-Quadrat-Anpassungstests:
    U = ";U
580 PRINT:PRINT:PRINT
590 INPUT"Weiter mit Return";A$:PRINT:PRINT
595 CLS
600 PRINT"Es folgt die Sequenzanalyse:":PRINT:PRINT
610 PRINT"Die Anzahl der Pluszeichen beträgt:      ";P
620 PRINT"Die Anzahl der Minuszeichen beträgt:
    ";(S+1)*80 -P
630 FOR L=1 TO 79:IF MID$(C$,L,1)<>MID$(C$,L+1,1) THEN
    SQ=SQ+1
640 NEXT L
650 PRINT:PRINT
660 SQ=SQ+1:PRINT"Die generierte Zufallszahlenfolge
    umfaßt";SQ;"Sequenzen";
670 PRINT
680 PRINT"und sieht als Folge von Plus- und
    Minuszeichen so aus:":PRINT:PRINT
690 D$(S)=C$:C$="":FOR F=0 TO 10:PRINT D$(F):NEXT F
700 INPUT"Weiter mit Return";A$:PRINT:PRINT:PRINT
710 CLS
720 PRINT"Die Ergebnisse der durchgeführten
    Sequenzanalyse: ":PRINT:PRINT
730 N1=P:N2=(S+1)*80 -P:MW=(2*N1*N2/(N1+N2))+1
740 SI=SQR((2*N1*N2*(2*N1*N2-N1-
    N2))/((N1+N2)^2*(N1+N2-1)))
750 PRINT"Mittelwert                (MW) =      ";MW
760 PRINT"Standardabweichung        (SI) =      ";SI

```

```

770 Z=(SQ-MW)/SI:PRINT"Prüfgröße"
780 PRINT"der Sequenzanalyse Z = ";Z
790 PRINT:PRINT:PRINT:INPUT "Weiter mit Return";A$
800 S=S+1: U=0:PRINT:PRINT:PRINT
810 INPUT"Möchten Sie die nächsten 80 Werte
    untersuchen (J/N)";G$
820 IF G$="j" OR G$="J" THEN 840
830 IF G$<>"j" OR G$<>"J" THEN 860
840 IF W=1 THEN 180
850 GOTO 370
860 CLS:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT
870 PRINT"Sie haben jetzt den Baustein für
    Zufallsprozesse beendet!"
880 PRINT:PRINT:PRINT:PRINT
890 END

```

b) Programmvariablen

Die in diesem Programm verwendeten Variablen sind die folgenden:

A = Steuergröße im Lehmer-Algorithmus
 A\$ = Stringvariable zum Abwarten einer Tastatureingabe
 B() = Beobachtete Häufigkeiten in den Klassen der Häufigkeitstabelle
 B\$ = Stringvariable zur Aufnahme des Symbols "-" bzw. "+"
 C\$ = Stringvariable zur Aufnahme der Symbolfolge von + und -
 D\$ = Stringvariable zur Aufnahme der Symbolfolgen der generierten Serien
 E() = die bei zugrundegelegter Gleichverteilung erwarteten Häufigkeiten
 F = Laufindex bei der Serien-Symbolverkettung
 I = Laufindex innerhalb einer Serie
 J = Laufindex über die Klassen
 L = Laufindex bei der Sequenzanalyse
 M = Divisor beim Lehmer-Algorithmus

MW = Mittelwert bei der Sequenzanalyse
 N = Laufindex in der Berechnungsschleife des
 Zufallszahlengenerators RND
 P = Anzahl der im Rahmen der Sequenzanalyse
 verteilten Plus-Zeichen
 S = Anzahl der Serien von Zufallszahlenfolgen
 SI = Standardabweichung bei der Sequenzanalyse
 SQ = Anzahl der Sequenzen in der Zufallszahlenfolge
 U = Prüfgröße des Chi-Quadrat-Anpassungstests
 W = Wahlmöglichkeit zwischen den Zufallszahlen-
 generatoren
 X = Startwert bzw. 1. Zufallszahl beim Lehmer-
 Algorithmus
 Y = generierte Zufallszahl
 Z = Prüfgröße in der Sequenzanalyse für große
 Stichproben

c) Programmbeschreibung

Satz 10 - 40 :

Programmüberschrift, Ausgabe erläuternder Hinweise

Satz 50:

Dimensionierung der erforderlichen Arrays

Satz 60 - 120:

Vorstellen der Wahlmöglichkeiten, Auswahl bzw. Ver-
 zweigung zu den Wahlmöglichkeiten Lehmer-Genrator und
 Zufallszahlengenerator RND

Satz 130 - 160:

Vorstellen des Programmteils RND

Satz 170:

Anweisung zum Abwarten einer Tastatureingabe

Satz 180:

Löschen des Bildschirms, Ausgabe einer Überschrift

Satz 190:

Starten des Zufallszahlengenerators mit dem Zusatz, daß bei jedem Aufruf durch die Benutzung der Timer-Funktion automatisch neue Werte an den Generator gegeben werden

Satz 200:

Beginn der äußeren Schleife, Einführung von B\$

Satz 210:

Erzeugung und Ausgabe der Zufallszahlen Y

Satz 220:

Vergleich von jeder Zufallszahl mit 0.5 (dem Median der Gleichverteilung), und Zuordnung bei Überschreitung von Symbol"+", dessen Vergabeanzahl in P summiert wird

Satz 230:

Verkettung der verteilten Symbole zu einer Kette in C\$, Beginn der inneren Schleife über alle Klassen

Satz 240:

Klassifizierung der Zufallszahlen und Bestimmung der beobachteten Besetzungszahl der Klassen, Sprunganweisung zu 260

Satz 250 - 270:

Ende der äußeren und inneren Schleife, Sprunganweisung
zu Satz 480

Satz 280 - 330:

Löschen des Bildschirms, Vorstellen des Programmteils
Lehmer-Generator

Satz 340 - 350:

Vorgabe des Divisors M und der Steuergröße A unter Berücksichtigung der in Kapitel II.1.4.1. erwähnten zahlentheoretischen Überlegungen

Satz 360:

Aufforderung, den Startwert beim Lehmer-Algorithmus einzugeben

Satz 370:

siehe 180

Satz 380:

siehe Satz 200

Satz 390:

Berechnung des Lehmer-Algorithmus

Satz 400 - 410:

Berechnung und Ausgabe der Zufallszahlen

Satz 420 - 430:

siehe 220

Satz 440:

Beginn der inneren Schleife über alle Klassen

Satz 450:

siehe Satz 240, ABER Sprunganweisung zu Satz 470

Satz 460 -470:

Äußere und innere Schleife beendet

Satz 480-490:

Zeilenvorschub, siehe Satz 170

Satz 500 - 510:

Löschen des Bildschirms, Zeilenvorschub, Ausgabe einer Tabellenkopfzeile

Satz 520:

Beginn einer Berechnungsschleife über alle gebildeten Klassen

Satz 530:

Berechnung aller Zwischenschritte zur Ermittlung von Chi-Quadrat, sowie der Prüfgröße U

Satz 540:

Erzeugung einer Häufigkeitstabelle für beobachtete und erwartete Häufigkeiten

Satz 550:

Ende der Berechnungsschleife

Satz 560 - 580:

Zeilenvorschub, Ausgabe der Prüfgröße U, Zeilenvorschub

Satz 590:

siehe 170, sowie Zeilenvorschub

Satz 600 - 640:

Ausgabe einer Überschrift, Vorbereitung der Sequenzanalyse, Ausgabe der Anzahl der verteilten Plus- und Minuszeichen, Berechnung der Sequenzanzahl in einer Berechnungsschleife über L

Satz 650 - 690:

Ausgabe der Sequenzenanzahl und Erläuterungen, die in Plus- und Minuszeichen verwandelte Zufallszahlenfolge erscheint

Satz 700:

siehe Satz 170

Satz 710 - 720:

Löschen des Bildschirms, Ausgabe einer vorbereitenden Überschrift

Satz 730 - 760:

Berechnung und Ausgabe des Mittelwertes und der Standardabweichung bei der Sequenzanalyse

Satz 770 - 780:

Ausgabe der Prüfgröße Z

Satz 790:

Zeilenvorschub, siehe Satz 170

Satz 800:

die Serienzahl wird erhöht, die Variable U erhält den Wert Null

Satz 810:

Abwarten der Tastatureingabe zur Weiterführung des Programms oder des Programmendes

Satz 820:

Bei Fortführung wird zu Satz 840 verzweigt

Satz 830:

Bei Ende des Programms wird zu Satz 860 verzweigt

Satz 840:

Verzweigung bei Wahl des Zufallszahlengenerators RND
zu Satz 180

Satz 850:

Verzweigung zu Satz 370

Satz 860 - 890:

Löschen des Bildschirms, Zeilenvorschub, Ausgabe einer
Mitteilung, Zeilenvorschub, Programmende

d) Programmergebnisse

Abb.12: Programmergebnisse bei Wahlmöglichkeit (1) RND

Dieses Programm benutzt den BASIC-internen Zufallszahlengenerator zur Erzeugung von Zufallszahlen zwischen 0 und 1.
Anschließend wird die Approximationsgüte an die Gleichverteilung sowie der Zufälligkeit der Zahlenfolge geprüft.

Weiter mit Return?

Abb.13: RND-generierte Zufallzahlen

Aus der Serie von 80 Zufallszahlen die letzten 80 Werte:

```
.322011  .3115339 .9173692 .5641576 .6634094 .9093039 .4631707
.1594194 .4366259 .2046484 4.518445E-02 .2594152 .3467965
3.166193E-02 .323538 .9459932 .4718769 .4019775 2.592123E-02
1.865017E-02 .4432678 .2075926 .3379122 .2836713 .1764405 .1754937
.5437516 .5302253 .7345615 .3177812 .9169379 .2605198 .2441175
.9377946 .8608526 .2669106 .9605408 .3317377 .2993847 .8402302
.8238337 .7421031 .3175563 .7879129 .2241941 .9607974 5.214703E-02
.7621191 1.763988E-02 .7822666 .6323196 .8375611 .7916346
.7066204 .5702445 .3411277 .3807118 .8927573 .4017247 .9270092
.6321006 .3614919 .5768215 .9078224 .4213503 4.367453E-02 .6064785
.631134 .9179554 8.321941E-03 .6231476 .3082947 .100951 .3657392
8.141315E-02 9.204537E-02 .5246873 .5206458 .5886175 .404661
```

Weiter mit Return?

Abb.14: Häufigkeitstabelle und Prüfgröße des Chi-Quadrat-Anpassungstests

Häufigkeitstabelle:	B(J)	E(J)
0 bis unter .1	11	8
.1 bis unter .2	4	8
.2 bis unter .3	9	8
.3 bis unter .4	10	8
.4 bis unter .5	8	8
.5 bis unter .6	8	8
.6 bis unter .7	4	8
.7 bis unter .8	7	8
.8 bis unter .9	10	8
.9 bis unter 1	9	8

Prüfgröße des Chi-Quadrat-Anpassungstests: $U = 6.5$

Weiter mit Return?

Abb.17: Programmergebnisse bei Wahlmöglichkeit (2) Lehmer-Generator

Dieses Programm benutzt den Lehmer-Generator zur Erzeugung von Zufallszahlen zwischen 0 und 1. prüft die Approximationsgüte an die Gleichverteilung bei unterschiedlichen Stichprobenumfängen sowie die generierte Zahlenfolge auf Zufälligkeit.

Bitte geben Sie den Startwert X (z.B.: 1) ein : ?

Weiter mit Return?

Abb.18: Die nach dem Lehmer-Algorithmus generierten Zufallszahlen

Aus der Serie von 80 Zufallszahlen die letzten 80 Werte:

.5686135	.9566094	.1196653	.732213	.3933345	.9283188	.5021339
.7838611	7.973945E-02	.4644472	.9332042	.5939465	.8890667	.6608266
.2152404	.2184692	.2619198	.7597148	.7982368	.1775606	.3722414
.5792341	.5779986	.796159	.862646	.9400269	.9118373	7.159703E-02
.3113874	6.678178E-02	.2639755	6.130672E-02	.7989878	.6528526	
.1687725	.8104925	.9337938	.9670934	4.132974E-02	.1562202	.9665628
.4188005	4.497979E-02	.4662125	5.042678E-02	.9134308	8.002022E-02	
.6421411	.3898529	.7249551	.8000056	.2970014	.9622922	2.807727E-03
.7769173	.6851415	.6033244	.8239555	.4341218	.3985849	.2511512
.9452352	.2080526	.6695586	.7414365	.2305144	.8843972	2.212489E-02
2.10755E-03	.3337985	.2499719	.1989275	.5945838	.1524596	.4866001
.9530829	.1745283	.4531742	.7988826	.5862534		

Abb.21: Zwischenergebnisse und Prüfgröße der Sequenzanalyse

Die Ergebnisse der durchgeführten Sequenzanalyse:

Mittelwert	(MM) =	40.975
Standardabweichung	(SI) =	4.440929
Prüfgröße		
der Sequenzanalyse Z	=	-.4447265

Weiter mit Return:

Nachdem auf der Grundlage der theoretischen Herleitung gezeigt wurde, wie eine Zufallsprozeß im Rahmen eines Computerprogramms nachgebildet werden kann, erfolgt in einem nächsten Schritt die Vorstellung eines Bausteines mit Realbezug.

Dieser Baustein bzw. das nachfolgende BASIC-Programm zur Einkommensverteilung kann insofern als eine Simulationsbaustein aufgefaßt werden, als daß hier ein sozialwissenschaftlich relevantes Thema zur Hypothesenprüfung in ein zugegebenermaßen kleines Computersimulationsprogramm übertragen wird, dessen Ergebnisse, quasi als simulierter Elementarprozeß, in einem nächsten Schritt in eine größere Simulation einfließen könnten.

1.6. SIMULATIONSBAUSTEIN AUS DER EMPIRISCHEN SOZIAL- FORSCHUNG AM BEISPIEL DER EINKOMMENSVERTEILUNG

Zur Verdeutlichung der Funktionsweise von Simulationsbausteinen erweist es sich als zielführend, die Entwicklung eines Bausteins relativ ausführlich wiederzugeben. Dementsprechend interessieren hier zunächst die sozialwissenschaftliche Relevanz, die Begriffsklärung, die Ausgangsdaten, die statistischen Maßzahlen des Beispiels Einkommensverteilung.

1.6.1. SOZIALWISSENSCHAFTLICHE RELEVANZ UND BEGRIFFSKLÄRUNG DER EINKOMMENSVERTEILUNG

Unter mehreren Gesichtspunkten ist für die Sozialwissenschaft, d.h. ihren Teilbereich empirische Sozialforschung, die Einkommensverteilung in einer Gesellschaft von Interesse. Dies nicht zuletzt deshalb, weil sie - in ihrer konkreten statistischen Gestalt, bzw. in der Entwicklung derselben im Zeitablauf - ein wichtiger Indikator für die sozio-ökonomische Situation einer Gesellschaft ist.

Neben der Einkommenshöhe generell (gemessen beispielsweise mit der statistischen Größe "Nettosozialprodukt zu Faktorkosten pro Kopf der Bevölkerung") gibt die Einkommensverteilung und ihre Streuung wesentliche Hinweise für die Lebenslage der Bevölkerung eines Landes. Darüber hinaus indiziert die Streuung der Einkommensverteilung und ihre Veränderung im Zeitablauf mögliche soziale Konfliktpotentiale.

Nicht zuletzt deshalb ist die "gerechte Einkommensverteilung" neben den Zielsetzungen der Preisniveaustabilität, der Vollbeschäftigung, des außenwirtschaftlichen Gleichgewichts und des stetigen Wirtschaftswachstums eines der wichtigsten Ziele der staatlichen Wirtschaftspolitik.

Dabei interessiert in diesem Zusammenhang weniger die sog. "funktionelle Einkommensverteilung", also die Verteilung des Volkseinkommens auf die Produktionsfaktoren¹.

Unter verteilungspolitischen Gesichtspunkten erscheint beispielsweise die institutionelle Verteilung auf Haushaltungen oder aber die personelle Einkommensverteilung, bei der die einzelnen Einkommensbezieher die Merkmalsträger sind, noch wichtiger² und wurde deshalb als Basis dieses Bausteins gewählt.

Aber nicht nur die verteilungspolitischen Gesichtspunkte waren für die Auswahl der personellen Einkommensverteilung ausschlaggebend, sondern auch die Tatsache, daß zu ihrer Analyse zunehmend Mikrosimulationsmodelle herangezogen werden.

"Mit diesen Simulationsmodellen läßt sich die Beeinflußbarkeit der sekundären Einkommensverteilung durch Steuern und Transfers gut abschätzen."³

1 VOß, W.: Die Bundesrepublik Deutschland, Stuttgart - Berlin - Köln - Mainz 1981, S.86

2 Ebenda, S.88-95

3 DWORSCHAK, F./WAGNER, G.: Probleme und Möglichkeiten von Verteilungsanalysen mit Hilfe von Mikrosimulationsmodellen, in: Allgemeines Statistisches Archiv, Göttingen 1985, S. 166

Verweis auf: Krupp, H.J. et al. (Hrsg.): Alternativen der Rentenreform '84, Frankfurt New York und Orcutt, G. et al. (Hrsg.): Microanalytic Simulation Models to Support Social and Financial Policy, Amsterdam u.a. 1985

Damit wird angedeutet, daß Bausteine solcher Art als simulierte Elementarprozesse in größere Simulationsmodelle eingebaut werden bzw. einfließen könnten.

1.6.2. AUSGANGSDATEN

Für das Jahr 1985 liegen die folgenden Daten zur personellen Einkommensverteilung vor:

Tab.1: Einkommensverteilung: Anteil der Erwerbstätigen in Prozent

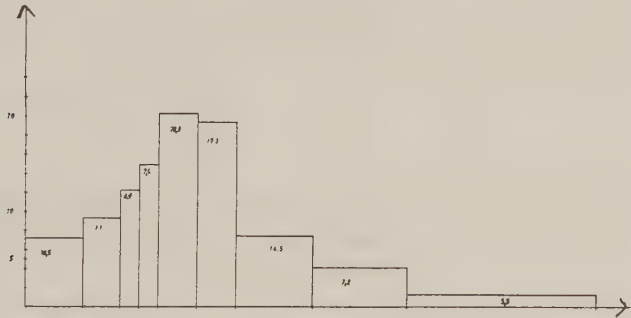
Einkommensklasse	Prozent
unter 600	10.5
600 - 1000	9.1
1000- 1200	6.1
1200- 1400	7.4
1400- 1800	20.3
1800- 2200	19.3
2200- 3000	14.5
3000- 4000	7.2
4000 und mehr	5.5
Summe	100

Quelle: Institut der Deutschen Wirtschaft (Hrsg.):
Zahlen zur wirtschaftlichen Entwicklung der
Bundesrepublik Deutschland 1987, Köln, Tab.12

Stellt man diese Verteilung graphisch dar, ergibt sich

das folgende Bild:

Abb.22: Histogramm der Einkommensverteilung in der Bundesrepublik Deutschland 1985



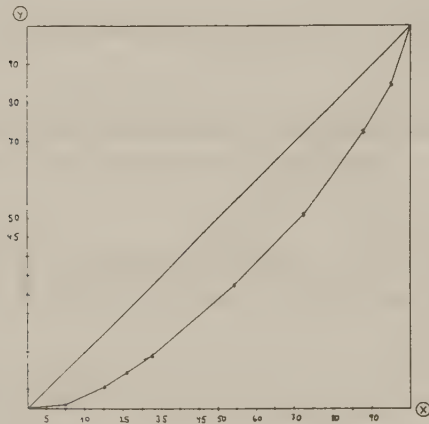
Häufig wird bei der Darstellung der Einkommensverteilung auch die sog. Lorenzkurve verwendet, bei der in einem Achsenkreuz auf der waagrechten Achse die kumulierten Anteile der Einkommensbezieher in den einzelnen Einkommensklassen, auf der Senkrechten die kumulierten Anteile der in den einzelnen Klassen insgesamt verdienten Einkommen abgetragen werden.

In einer solchen Graphik stellt sich die egalitäre Einkommensverteilung (Gleichverteilung) als 45-Grad-Linie (Diagonale) dar, während eine zunehmende Abweichung von dieser Linie eine zunehmende Schiefe der Einkommensverteilung signalisiert.

Die Lorenzkurve für die obige Einkommensverteilung der

Bundesrepublik Deutschland stellt sich wie folgt dar:

Abb.23: Lorenzkurve der Einkommensverteilung in der Bundesrepublik Deutschland 1985



1.6.3. STATISTISCHE MASSZAHLEN

Zur Charakterisierung der Einkommensverteilung kann man Maße der zentralen Tendenz (zum Beispiel das arithmetische Mittel, den Median oder den Modus) verwenden; zur Charakterisierung der Streuung der Einkommensverteilung greift man üblicherweise auf die Standardabweichung oder z.B. auf den Lorenzkoeffizienten zurück.

Ausgehend von den obigen Daten ergibt sich:

Maßzahlen der zentralen Tendenz:

Arithmetisches Mittel = 1872 DM

Median (Zentralwert) = 1733 DM

Modus (Häufigster Wert) = 1771 DM

Das Auseinanderfallen dieser drei Mittelwerte ist bekanntlich ein Indiz für die Schiefe der Verteilung.⁴

Streuungsmaße:

Standardabweichung = 1109 DM

Lorenzkoeffizient = 0.282

1.6.4. SIMULATION

Im Anschluß an die bisherigen Ausführungen stellt sich nun die Frage, welche Rolle bei dieser Themenstellung ein Simulationsprogramm spielen kann.

⁴ Vgl. VOß, W.: Bausteine der Statistik. Rezept für Nichtstatistiker, Köln 1979, S.59
SACHS, L.: Angewandte Statistik ..., a.a.O., S.98f

a) Ausgangslage

Ausgehend von den schon im ersten Teil dieser Arbeit vorgestellten Ausführungen zu den Grundbegriffen Modell und Simulation können die Aufgaben eines Simulationsmodells beispielsweise unter drei Oberbegriffen subsumiert werden, nämlich unter die Begriffe "Beschreibung", "Erklärung" und "Prognose":

Beschreibung:

Wie erwähnt, muß ein valides Simulationsmodell, das zu Erklärungs- und Prognosezwecken herangezogen wird, zumindest in der Lage sein, die empirischen Befunde, wie z.B. im Fall der personellen Einkommensverteilung die obigen Ergebnisse, beschreibend zu charakterisieren.

Erklärung:

Das Simulationsmodell ist die konkrete Ausgestaltung einer auf der Grundlage inhaltlich-theoretischer Überlegungen hergeleiteten Untersuchungshypothese, die dann, wenn das Modell die empirischen Befunde mit hinreichender Güte zu beschreiben in der Lage ist, als bestätigt gelten kann⁵ (im anderen Falle würde sie als widerlegt gelten, was dann den Gedanken nahelegte, nach alternativen Hypothesen zu suchen, bzw. andere theoretische Ansätze zum Ausgangspunkt dieser Suche zu machen).

5 Anm.: Dem hier vorliegenden Ansatz entspricht weitgehend die Auffassung von Modell als Hypothesengebäude. Vgl. Kapitel I.2.1.

Prognose:

Wenn ein Modell erklärende Qualitäten aufweist, ist es auch in der Lage als Prognoseinstrument⁶ zu dienen: Von unterschiedlichen Start- und Parameterwerten ausgehend, können dann Ergebnisse "simuliert" werden ("was ergibt sich, wenn..."), in diesem Falle also das Aussehen der personellen Einkommensverteilung unter unterschiedlichen Bedingungen.

b) Theoretischer Ansatz

Es geht in dieser Darstellung nicht darum, konkurrierende Einkommensverteilungs-Theorien vorzustellen, zu diskutieren oder gegeneinander abzuwägen, sondern es soll gezeigt werden, wie man von einem Ansatz ausgehend, mit Hilfe eines Simulationsprogramms zu Erkenntnissen gelangen kann, die eine Näherung an ein komplexeres Simulationsmodell in dem Sinne, wie es in Abschnitt a) skizziert wurde, erlauben bzw. die Grundlage dafür bilden.

Angeregt durch die Darlegungen einer Veröffentlichung⁷ von M.Tiede aus dem Jahr 1971, wählen wir in Anlehnung daran zu diesem Zweck einen sehr einfachen Ansatz, der den Vorzug hat, zu einem überschaubaren und nachvollziehbaren Simulationsmodell und damit zu einem

6 Anm.: Böhret bezeichnet ein zu diesem Zweck genutztes Simulationsmodell als "extrapolative Prognosesimulation". Vgl. BÖHRET, C./WORDELMANN, P.; Das Planspiel als Methode der Fortbildung, a.a.O., S.36

7 Vgl. TIEDE, M.: Konsequenzen der Forderung nach Chancengleichheit im Erwerbsleben für die personelle Einkommensverteilung sowie einige Folgerungen für den Einkommenssteuertarif, in: Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik B. 185, Heft 1, 1971

nicht zu komplizierten Computerprogramm zu führen. Dieser Ansatz geht von der folgenden - zunächst zugegebenermaßen sehr abstrahierenden Vorstellung aus:

Man nehme an, der Prozeß der Einkommensentstehung vollziehe sich so, daß zu Beginn jeder Rechnungsperiode (zum Beispiel an jedem Monatsersten, oder an jedem 1. Januar) jede Erwerbsperson die gleiche Chance hat, ins Erwerbsleben einzutreten (diese Chance sei mit P bezeichnet: P = Wahrscheinlichkeit dafür, daß eine Erwerbsperson für die Dauer einer Periode einer beruflichen Tätigkeit nachgehen kann). Damit hat auch jede Erwerbsperson die gleiche Chance $(1-P)$, für die Dauer einer Periode arbeitslos zu sein.

Diejenigen, die das Glück haben, für die Dauer einer Periode Geld zu verdienen, sollen - dies ist eine weitere Vereinfachung - alle die gleichen Bezüge erhalten.

Zu Beginn der jeweils folgenden Periode wird, bei Gültigkeit der gleichen Bedingungen, wieder (quasi zufällig, per Münzwurf oder Losentscheid) darüber entschieden, wer in dieser folgenden Periode Arbeit und Lohn bekommt und wer nicht.

Der gesamte Prozeß der Einkommensentstehung soll sich auf zehn Perioden erstrecken.

Das theoretische Konzept, das dieser außerordentlich simplen gedanklichen Überlegung zugrundeliegt (oder zugrunde gelegt werden kann) kann mit dem Stichwort der "Chancengleichheit im Erwerbsleben" bezeichnet werden. Dieses Stichwort spielt bekanntlich in allen Diskussionen über die Frage, was denn überhaupt eine

"gerechte" Einkommensverteilung sei, eine entscheidende Rolle.

Wir unterstellen also theoretisch "Chancengleichheit im Erwerbsleben" (realisiert durch die oben skizzierte Prozedur der Teilnahme am Erwerbsleben und durch die Bedingung, daß jeder Erwerbstätige pro Periode das gleiche Einkommen bezieht) und wollen jetzt ein Programm entwickeln, welches die sich nach zehn Perioden ergebende Einkommensverteilung simuliert.

1.6.5. PROGRAMM

Zur Problemanalyse

Die Problemanalyse geht von der Vorstellung aus, daß zu Beginn der Periode 1 eine endliche Zahl von Erwerbspersonen versammelt sind. Jede einzelne dieser Personen hat die gleiche Chance (z.B. $P = 0.9$), ins Erwerbsleben für diese erste Periode einzutreten, bzw. eine Chance von $1-P$ arbeitslos zu bleiben. In der zweiten Periode stellt sich für diese Person wieder die gleiche Alternative - und dies insgesamt über 10 Perioden (natürlich kann das folgende Programm auch in der Weise verallgemeinert werden, daß dieser Prozeß über eine beliebige Anzahl von Perioden hinweg betrachtet wird).

Die entsprechende Überlegung gilt für jede einzelne andere Person auch.

Einzigster Entscheidungsparameter in diesem Modell, der zu Unterschieden zwischen verschiedenen Modell-Läufen

führen kann, ist die Wahrscheinlichkeit P , die deshalb auch im folgenden Programm vom Programmbenutzer frei gewählt werden kann. Natürlich muß der Zahlenwert dieser Größe auf den Wertebereich 0 bis 1 beschränkt werden (wie bei den anderen Programmen auch, verzichten wir darauf, Fehleingaben der Programmbenutzer "abzufangen", d.h. es sollten auch in dieses Programm tunlichst keine unsinnigen Werten eingegeben werden).

Die "Zufälligkeit" der Entscheidung darüber, ob eine bestimmte Person in einer bestimmten Periode beschäftigt oder arbeitslos ist, können wir im Programm mit der RND-Funktion bzw. mit dem BASIC-internen Zufallsgenerator RND produzieren⁸.

Am Ende des Gesamtprozesses werden sich die einzelnen Personen in unterschiedlichen Gesamt-Einkommensklassen finden. Diejenigen, die in jeder Periode ein Einkommen erzielen konnten (per Zufall, wie unser Modell unterstellt), werden ganz oben in der Einkommenshierarchie landen, diejenigen, die (zufälligerweise) in keiner der zehn Perioden Einkommen erzielen konnten, werden ganz unten sein, die anderen - je nachdem, wieviel "Glück" oder wieviel "Pech" sie hatten, werden irgendwo dazwischen rangieren.

Auf diese Weise entstehen nach zehn Perioden elf Einkommensklassen, wie leicht einsichtig ist.

⁸ Vgl. dazu Ausführungen in Kapitel II.2. bis Kapitel II.2.6.

a) Programmliste

```

10 REM Einkommensverteilung
20 CLS
30 PRINT"Dieses Programm simuliert die Entwicklung
  einer Einkommensverteilung"
40 PRINT"im Zeitablauf (10 Perioden) bei
  unterschiedlichen Chancen der Einkom-"
50 PRINT TAB(30)"menserzielung"
60 PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT
70 INPUT "Zahl der Einkommensbezieher      (ab 10)    :
  ";N
80 INPUT "Wahrscheinlichkeit für Einkommen (0.1-0.9) :
  ";P
90 RANDOMIZE TIMER
100 CLS : O$="o" : B$=" "
110 DIM H(80),HR(80)
120 IF N>25 THEN PRINT"Moment bitte":GOTO 180
130 REM graphische Ausgabe
140 FOR BZ=1 TO 10:FOR BS=40-2*BZ TO 40+2*BZ STEP 4
150 LOCATE BZ,BS:PRINT".":NEXT BS:NEXT BZ
160 FOR BZ=11 TO 22:FOR BS=18 TO 62 STEP 4
170 LOCATE BZ,BS:PRINT".":NEXT BS:NEXT BZ
180 FOR J=1 TO N
190 Z=1:S=40:D=2
200 IF N>25 THEN 220
210 LOCATE Z,S:PRINT O$
220 R=RUND(1) : IF R<(1-P) THEN D=-2
230 IF N>25 THEN 260
240 FOR I=1 TO 400:NEXT I
250 LOCATE Z,S:PRINT B$
260 Z=Z+1:S=S+D:IF Z<11 THEN D=2 :GOTO 200
270 IF N>25 THEN 320
280 FOR Z=11 TO 22-H(S):LOCATE Z,S:PRINT O$
290 FOR I=1 TO 20:NEXT I
300 LOCATE Z,S:PRINT" ":NEXT Z
310 LOCATE 22-H(S),S:PRINT O$:PRINT CHR$(7)
320 H(S)=H(S)+1
330 NEXT J
340 GOSUB 420 : REM warten
350 REM tabellarische Ausgabe
360 FOR J=1 TO 80 : HR(J)=(H(J)/N)*100:NEXT J
370 PRINT"Klasse","Häufigkeit","Prozent":PRINT
380 FOR J= 20 TO 60 STEP 4
390 PRINT(J-20)/4+1,H(J),HR(J)
400 NEXT J
410 LOCATE 20,20:PRINT"Ende des Programms":END
420 REM up warten
430 LOCATE 24,20
440 INPUT "Zur Fortsetzung bitte die Return-Taste";A$
450 CLS:RETURN

```

b) Programmvariablen

Die in diesem Programm benutzten Variablen sind die folgenden:

A\$ = Stringvariable zum Abwarten einer Tastaturein-
 gabe
 BS = Bildschirmspalte
 BZ = Bildschirmzeile
 B\$ = Stringvariable zur Aufnahme der Leertaste
 D = Schrittweitenveränderung für Bildschirmspalten
 H() = Häufigkeiten in Einkommensklassen
 HR() = Relative Häufigkeiten in Einkommensklassen
 I = Laufindex in Warteschleifen
 J = Laufindex über die Merkmalsträger
 N = Anzahl der Merkmalsträger
 P = Wahrscheinlichkeit der Einkommenserzielung
 O\$ = Stringvariable zur Aufnahme des Symbols "o"
 R = Zufallszahl
 S = Laufnummer der Einkommensklasse (Bildschirm-
 spalte)
 Z = Bildschirmzeile

c) Programmbeschreibung

Satz 10 - 60:

Programmüberschrift, Ausgabe erläuternder Hinweise

Satz 70 - 80:

Vorgabe der Anzahl der Einkommensbezieher und der Eintrittswahrscheinlichkeit für die Einkommenserzielung

Satz 90:

Vorbereitung der Erzeugung von Zufallszahlen

Satz 100-110:

Löschen des Bildschirms, Speicherung der für die graphische Ausgabe zu benutzenden Symbole (Leertaste und Symbol "o"), Dimensionierung der erforderlichen Arrays

Satz 120:

Übergehen der graphischen Präsentation durch Sprung zum Satz 180, wenn die Anzahl der Merkmalsträger größer als 25 ist (für die graphische Präsentation reicht dann der auf dem Bildschirm zur Verfügung stehende Platz nicht aus)

Satz 130:

Überschrift

Satz 140-170:

Ausgabe eines "Galton-Bretts"

Satz 180:

Beginn der Zeichenschleife über alle Merkmalsträger

Satz 190:

Festlegung der Startposition der graphischen Ausgabe (Bildschirmzeile und -spalte) und der Schrittweite für die Spaltenveränderung in der nächsten Periode (D)

Satz 200:

Überspringen der Zeichenanweisungen, wenn $N > 25$ (siehe 120)

Satz 210:

Zeichnen eines Symbols "o"

Satz 220:

Bestimmung einer Zufallszahl und Wechsel des Vorzeichens von D ("Einkommensverlust" bzw. kein weiteres Einkommen) in Abhängigkeit von P (siehe Variablenliste)

Satz 230:

siehe Satz 200

Satz 240:

Warteschleife zur Verlangsamung der graphischen Ausgabe

Satz 250:

Löschen des vorhergehenden Symbols ("o") mit der Leertaste und Zeichnen des neuen Symbols "o"

Satz 260:

Festlegung der neuen Zeichenposition und Rücksprung (wieder mit $D=2$), solange noch nicht 10 Perioden abgearbeitet sind

Satz 270:

siehe Satz 200

Satz 280-310:

Zeichnen des "Besetzens" der in der letzten Periode erreichten Einkommensklasse; dabei ist die Häufigkeit in dieser Klasse $H(S)$ mit null besetzt, sofern in dieser Klasse noch keine Merkmalsträger aufgetreten sind

Satz 320-330:

Erhöhung der Anzahl der Merkmalsträger in den Einkommensklasse Nr.S um 1 und Übergang zum nächsten Merkmalsträger

Satz 340:

Sprung ins Unterprogramm 420 zur Programmunterbrechung

Satz 350:

Überschrift

Satz 360:

Berechnung der relativen Häufigkeiten in den Einkommensklassen

Satz 370-410:

Ausgabe der Häufigkeitstabelle und Beendigung des Programms

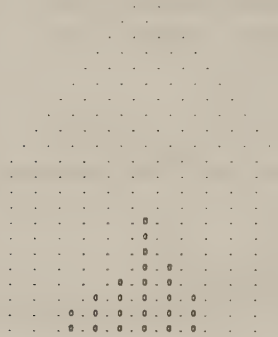
Satz 420-450:

Unterprogramm zur Unterbrechung der Programmabarbeitung bis der Benutzer die Return-Taste betätigt.

d) Programmergebnisse

Wenn dieses Programm mit dem Kommando RUN gestartet wird, so wird zunächst, nach der Ausgabe erläuternder Hinweise, gefragt, wie groß die Anzahl der Merkmals-träger und wie groß die Wahrscheinlichkeit für die Einkommenserzielung pro Periode sein soll.

Gibt man als erste Information z.B. die Zahl 25 ein, als Eintrittswahrscheinlichkeit den Wert 0.5, so erhält man die folgenden Ergebnisse:

Abb.24: Graphik für $N = 25$, $P = 0.5$ 

Zur Fortsetzung bitte die Return-Taste?

Abb.25: Häufigkeitstabelle für $N = 25$, $P = 0.5$

Klasse	Häufigkeit	Prozent
1	0	0
2	0	0
3	2	8
4	3	12
5	4	16
6	8	32
7	5	20
8	3	12
9	0	0
10	0	0
11	0	0

Ende des Programms

Ok

Ändert man diese Vorgaben, indem man beispielsweise den Wert P (Wahrscheinlichkeit der Einkommenserzielung in einer Periode) auf $P = 0.8$ erhöht, ergibt sich :

Abb.26: Graphik für $N = 25$, $P = 0.8$

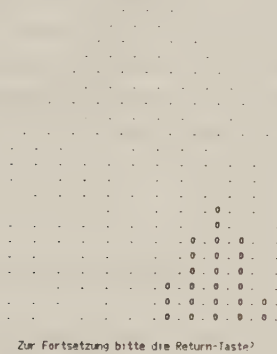


Abb.27: Häufigkeitstabelle für $N = 25$, $P = 0.8$

Klasse	Häufigkeit	Prozent
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	3	12
8	6	24
9	8	32
10	6	24
11	2	8

Ende des Programms

Ok

Erhöht man beispielsweise N auf 200 (und beläßt P beim Wert 0.8) erhält man nur eine tabellarische Ausgabe:

Abb.28: Häufigkeitstabelle für N = 200, P = 0.8

Klasse	Häufigkeit	Prozent
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	2	1
6	7	3.5
7	17	8.5
8	34	17
9	60	30
10	59	29.5
11	21	10.5

Ende des Programms

Ok

Es ist bei diesen Ergebnisse zu berücksichtigen, daß sie zufallsabhängig sind. Bei weiteren Programmläufen werden sich bei gleichen Parameterwert-Vorgaben (in Abhängigkeit von RANDOMIZE TIMER, d.h. der Vorgabe einer unterschiedlichen Startgröße zur Generierung von Zufallszahlen) unterschiedliche Ergebnisse einstellen.

Es zeigt sich, daß bei $P=0.5$ sich tendenziell eine symmetrische Häufigkeitsverteilung ergibt, während bei $P>0.5$ die Verteilung rechtsschief, bei $P<0.5$ die Verteilung linksschief wird. Bei wachsendem N (Zahl der "simulierten" Personen) nähert sich die Verteilung der Gauß'schen Normalverteilung an. Dies entspricht der Aussage des Lokalen Grenzwertsatzes von de-Moivre/Laplace, der belegt, daß eine binomische Verteilung (und dies ist ja offenkundig das diesem Modell

zugrundeliegende Verteilungsmodell) sich mit wachsendem N durch die Normalverteilung mit hinreichender Güte approximieren läßt.

Wesentliches Ergebnis ist also, daß keineswegs, wie vielleicht - von der Hypothese der Chancengleichheit ausgehend - vermutet werden könnte, eine Gleichverteilung resultiert, sondern es zeigt sich schon nach wenigen Testläufen die Gültigkeit des binomischen Modells darin, daß wenige Einkommensbezieher insgesamt wenig an Einkommen erzielen, wenige auch insgesamt viel beziehen, hingegen viele ein mittleres Gesamteinkommen erzielen.

e) Interpretation

Die Interpretation dieser Befunde kann an der folgenden Überlegung anknüpfen: Selbst wenn Chancengleichheit in dem hier benutzten modellhaften Verständnis geboten wäre, ist die resultierende Einkommensverteilung keine egalitäre Verteilung, sondern eine unimodale Verteilung mit zunehmender Spannweite bei zunehmender Zahl der Perioden.

In umgekehrter Betrachtungsweise könnte daraus eine empirische Untersuchungshypothese hergeleitet werden, wie etwa die folgende:

Wenn die konkrete Einkommensverteilung in der Bundesrepublik Deutschland mit hinreichender Güte an eine Normalverteilung approximiert werden kann (sie kann es allerdings nicht; siehe dazu unten), dann deshalb, weil Chancengleichheit im Erwerbsleben geboten war.

Ob aber tatsächlich auf diese Weise Untersuchungshypothesen hergeleitet werden dürfen, kann bestritten werden: Es könnten ja auch ganz andere Faktoren, nämlich solche, die in dem obigen sehr einfachen Modell nicht berücksichtigt worden waren, dazu beigetragen haben, der konkreten Einkommensverteilung eine bestimmte Gestalt zu geben. Gleichwohl könnte zumindest diese Hypothese (die der Chancengleichheit), sollte die tatsächliche Einkommensverteilung dem Modell der Normalverteilung entsprechen, nicht verworfen werden.

In diesem Zusammenhang kann festgehalten werden, daß die Simulationsmethode in den Sozialwissenschaften zu Recht als ein Verfahren zur Hypothesengenerierung und -prüfung bezeichnet werden kann.

f) Modifikationen

Im Hinblick auf die Intention dieses Bausteins, eine Näherung an ein Simulationsmodell zu leisten, das sowohl den empirischen Befund beschreibend charakterisieren als auch zur Erklärungs- und Prognosezwecken herangezogen werden kann, gilt es das vorliegende Simulationsprogramm entsprechend zu modifizieren bzw. realitätsnäher zu gestalten.

So könnte in einem nächsten Schritt folgendes Faktum Berücksichtigung finden:

- Unterschiedliche Wahrscheinlichkeiten für unterschiedliche Einkommen

Damit weicht man von der sehr unrealistischen Annahme ab, daß alle Personen die gleichen Bezüge erhalten. Darüber hinaus erhält der Programm-Benutzer die Möglichkeit der Vorgabe, mit welcher Wahrscheinlichkeit in

welcher Einkommensklasse Verdienste realisiert werden können, womit realitätsnähere Situationen mit der Simulationsmethode erfaßt werden können.

fa) Programmliste

```

10 REM Modifikation
20 CLS
30 INPUT "Zahl der Einkommensbezieher      (ab 10)  :
   ";N
40 INPUT "Wahrscheinlichkeit für niedriges Einkommen :
   ";P1
50 INPUT "...                               für mittleres Einkommen :
   ";P2
60 INPUT "...                               für hohes      Einkommen :
   ";P3
70 IF P1+P2+P3<>1 THEN PRINT"Fehler ! Summe der W. muß
   1 sein.":GOTO 40
80 RANDOMIZE TIMER
90 DIM H(200),HR(200)
100 CLS:PRINT"Moment bitte"
110 FOR J=1 TO N
120 Z=1:S=60
130 R=RND(1)
140 IF R<P1 THEN D=-2
150 IF R>=P1 AND R<P2+P1 THEN D=0
160 IF R>=P1+P2 THEN D=6
170 Z=Z+1:S=S+D:IF Z<11 THEN D=2 :GOTO 130
180 H(S)=H(S)+1
190 NEXT J
200 GOSUB 490 : REM warten
210 REM tabellarische Ausgabe
220 FOR J=1 TO 120 : HR(J)=(H(J)/N)*100:NEXT J
230 PRINT"Klasse","Häufigkeit","Prozent":PRINT
240 FOR J= 1  TO 120
245 IF H(J)=0 THEN 270
250 PRINT J,H(J),HR(J)
270 NEXT J
280 GOSUB 490
290 SCREEN 2
300 LINE (1,1)-(1,150):LINE (1,150)-(600,150)
310 FOR S=1 TO 200
320 LINE (S*3,150)-(S*3,150-8*H(S))
330 NEXT S
340 GOSUB 490

```

```

350 CLS:SCREEN 0:WIDTH 80
360 LOCATE 20,20:PRINT"Ende des Programms":END
370 REM up warten
380 LOCATE 24,20
390 INPUT "Zur Fortsetzung bitte die Return-Taste";A$
400 CLS:RETURN

```

fb) Programmvariablen

Die in diesem Programm benutzten Variablen sind die folgenden:

A\$ = Stringvariable zum Abwarten einer Tastatureingabe
 BS = Bildschirmspalte
 BZ = Bildschirmzeile
 B\$ = Stringvariable zur Aufnahme der Leertaste
 D = Schrittweitenveränderung für Bildschirmspalten
 H() = Häufigkeiten in Einkommensklassen
 HR() = Relative Häufigkeiten in Einkommensklassen
 I = Laufindex in Warteschleifen
 J = Laufindex über die Merkmalsträger
 N = Anzahl der Merkmalsträger
 P1 = Wahrscheinlichkeit der Einkommenserzielung im niedrigen Bereich
 P2 = Wahrscheinlichkeit der Einkommenserzielung im mittleren Bereich
 P3 = Wahrscheinlichkeit der Einkommenserzielung im hohen Bereich
 O\$ = Stringvariable zur Aufnahme des Symbols "o"
 R = Zufallszahl
 S = Laufnummer der Einkommensklasse (Bildschirmspalte)
 Z = Bildschirmzeile

fc) Programmbeschreibung

Satz 10 - 60:

Programmüberschrift, Löschen des Bildschirms, Vorgabe der Anzahl der Einkommensbezieher und der unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten für die Realisierung unterschiedlicher Einkommenshöhen

Satz 70:

Kontrolle der Summe der eingegebenen Wahrscheinlichkeiten

Satz 80 - 100:

Vorbereitung der Erzeugung von Zufallszahlen, Dimensionierung der erforderlichen Arrays, Löschen des Bildschirms, Ausgabe eines Programmhinweises

Satz 110 - 120:

Beginn der Berechnungsschleife, Belegung von Z und S

Satz 130 - 170:

Bestimmung einer Zufallszahl, Wechsel des Vorzeichens und Wertzuweisung von D in Abhängigkeit von P1, P2, P3; Verzweigung zu Satz 130

Satz 180 - 190:

Festlegung des aktuellen Standes der absoluten Häufigkeiten in den Einkommensklassen, Verzweigung zum Schleifenbeginn

Satz 200 - 210:

Verzweigung zum Unterprogramm, das in Satz 370 beginnt, Programmüberschrift

Satz 220 - 280:

Berechnung der relativen Häufigkeiten, Vorbereitung der tabellarischen Ausgabe der prozentualen Häufigkeitsverteilung

Satz 290 - 300:

Umschalten in den Graphikmodus, Zeichnung eines Koordinatenkreuzes

Satz 310 - 330:

Zeichnung des Stabdiagrammes

Satz 340:

Verzweigung zu Satz 370

Satz 350 - 360:

Umschalten in den Text-Modus, Ausgabe eines Programmhinweises, Ende des Programms

Satz 370 - 400:

Unterprogrammüberschrift, Ausgabe einer Anforderung an den Benutzer zur Fortsetzung des Programmes, Löschen des Bildschirms und Verzweigung ins Hauptmenü

fd) Programmergebnisse

Wenn dieses Programm mit dem Kommando RUN gestartet wird, so wird zunächst wiederum nach der Anzahl der Merkmalsträger gefragt. Danach müssen die unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten zur Erzielung unterschiedlicher Einkommenshöhen vorgegeben werden.

Gibt man als erste Information z.B. die Anzahl der Merkmalsträger mit 70 und belegt die drei Wahrschein-

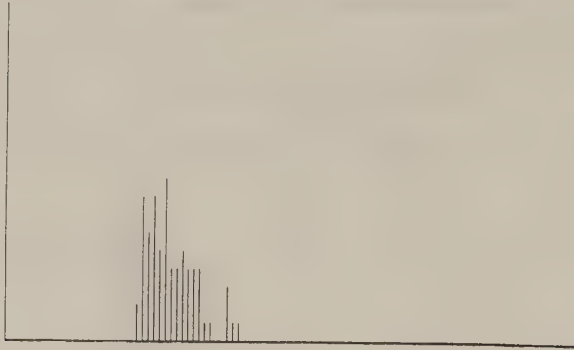
lichkeiten mit $P_1 = 0.45$, $P_2 = 0.4$ und $P_3 = 0.15$, so erhält man folgende Ergebnisse:

Abb.29: Häufigkeitstabelle für $N = 70$, $P_1 = 0.45$,
 $P_2 = 0.4$, $P_3 = 0.15$

Klasse	Häufigkeit	Prozent
46	2	2.857143
48	3	11.42857
50	6	8.571428
52	3	11.42857
54	5	7.142858
56	9	12.85714
58	4	5.714286
60	4	5.714286
62	5	7.142858
64	4	5.714286
66	4	5.714286
68	4	5.714286
70	1	1.428572
72	1	1.428572
78	3	4.285714
80	1	1.428572
82	1	1.428572

Zur Fortsetzung bitte die Return-Taste?

Abb.30: Stabdiagramm⁹ für $N = 70$, $P_1 = 0.45$, $P_2 = 0.4$,
 $P_3 = 0.15$



Zur Fortsetzung bitte die Return-Taste? █

Ändert man diese Vorgaben, indem man beispielsweise folgende Wahrscheinlichkeiten¹⁰ vorgibt:

$P_1 = 0.331$, $P_2 = 0.539$, $P_3 = 0.13$

9 Anm.: Graphiken dieser Art lassen sich nur mit einem PC erstellen, der über eine CGA-Karte und den entsprechenden Bildschirm verfügt. Für die Darstellung auf einem hochauflösenden Herkules-Bildschirm muß die BASIC-Version "H-Basic" oder ein geeignetes Emulationsprogramm benutzt werden.

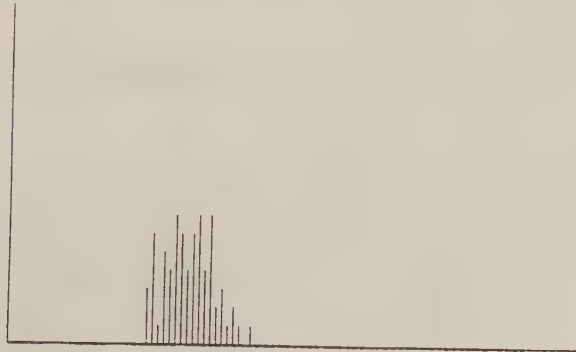
10 Faßt man die relativen Besetzungshäufigkeiten der ersten vier Einkommensklassen der personellen Einkommensverteilung zusammen ergibt sich 33.1%, die man beispielsweise als die Wahrscheinlichkeit für die Erzielung eines niedrigen Einkommens verwenden kann; die Zusammenfassungen der nächsten drei und der letzten beiden relativen Besetzungshäufigkeiten weist man entsprechend P_2 (als Wahrscheinlichkeit der Realisierung eines mittleren Einkommens) und P_3 (als Wahrscheinlichkeit der Realisierung eines hohen Einkommens).

Abb.31: Häufigkeitstabelle für $N = 70$, $P_1 = 0.331$, $P_2 = 0.539$, $P_3 = 0.13$

Klasse	Häufigkeit	Prozent
48	3	4.285714
50	6	8.571428
52	1	1.428572
54	5	7.142858
56	4	5.714286
58	7	10
60	6	8.571428
62	4	5.714286
64	6	8.571428
66	7	10
68	4	5.714286
70	7	10
72	2	2.857143
74	3	4.285714
76	1	1.428572
78	2	2.857143
80	1	1.428572
84	1	1.428572

Zur Fortsetzung bitte die Return-Taste?

Abb.32: Stabdiagramm für $N = 70$, $P_1 = 0.331$, $P_2 = 0.539$, $P_3 = 0.13$



Zur Fortsetzung bitte die Return-Taste? ■

Unabhängig davon, daß auch im letzten Fall die Besetzung der einzelnen Einkommensklassen keineswegs gleich

sind, zeigt der Vergleich der Resultate des ersten und des modifizierten Programms im Hinblick auf die Beschreibung des empirischen Befunds eine erste Annäherung. Als weitere Modifikationsmöglichkeiten, die dem Ziel einer realitätsnäheren Ausgestaltung des Simulationsprogrammes zuträglich sind, sind z.B. folgende denkbar: die Berücksichtigung der Situation, daß eine Person, die in einer Periode eine Arbeit hatte, in der nächsten Periode eine höhere Beschäftigungswahrscheinlichkeit hat, oder daß Übergangswahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit von der Länge der Zugehörigkeit zu einer Einkommensklasse in die nächst höhere Einkommensklasse eingeführt werden.¹¹

11 Anm.: Die schon erwähnte Veröffentlichung von M.Tiede zeigt u.a. unter ähnlichen Gesichtspunkten in nachvollziehbarer Weise Annäherungen an eine Beschreibung des empirischen Befundes auf. Vgl. TIEDE, M.: Konsequenzen der Forderung nach Chancengleichheit ..., a.a.O.

2. WACHSTUMSPROZESSE

Nachdem in einem ersten Schritt ausführlich, d.h. detailliert die allgemeine Lösung des bei der Modellkonstruktion wiederholt auftretenden Problems, Zufallsprozesse adäquat zu erfassen, geleistet wurde, wird bei den weiteren Beispielen der Schwerpunkt weniger auf die theoretische Lösung des Transformations- bzw. Modellkonstruktionsproblems gelegt; vielmehr stehen die praktischen Lösungsversuche, d.h. die Übertragung in BASIC-Programme, im Vordergrund. Diese Entscheidung resultiert aus der Tatsache, daß im Gegensatz zu dem Problem, Zufallsprozesse im Modell zu simulieren, die theoretische Auseinandersetzung mit dem interessierenden Elementarprozeß für die erfolgreiche Implementation auf dem Computer bzw. zu seiner Simulation nicht so entscheidend ist.

2.1. ZUM WACHSTUMSBEGRIFF

Aufgrund der Tatsache, daß im Rahmen der Computersimulation vorwiegend dynamische Prozesse, deren Erfassung gerade durch diese Methode möglich wird, betrachtet werden, interessieren zeitliche Veränderungen des zu untersuchenden Systems bzw. gilt es, diese in einem dynamischen Modell (vgl. Kapitel I.2.1.1.5.) adäquat zu erfassen.

Wenn man nun unter der Veränderung eines Systems ein Anwachsen oder Abnehmen einer Modellgröße (der exogene, der endogenen oder der Zustandsvariablen) im Zeitablauf versteht, untersucht man Wachstumsvorgänge. Damit ergibt sich unmittelbar, daß, entgegen der mehr

umgangssprachlichen Bedeutung des Begriffes Wachstum als einer Zunahme oder einem größer werden, hier von einer allgemeineren Bedeutung, die sowohl die Zunahme als auch die Abnahme einer Größe umfaßt, ausgegangen wird:

"... kann also Wachstum als die Veränderung einer (meßbaren) Größe mit der Zeit beschrieben werden. In diesem Sinne ist der Wachstumsbegriff grundlegend für alle dynamischen Systeme."¹

Die Bedeutung dieses Prozesses für die Computersimulation wird nicht zuletzt dadurch belegt, daß der Wachstumsprozeß Bestandteil vieler Bereiche ist, die zu unserer Lebensumgebung gehören und die somit zugleich einen im Computersimulationsmodell zu erfassenden Realitätsausschnitt bilden können.

Exemplarisch kann auf den Wachstumsvorgang in der Biologie, das Längenwachstum des Menschen, in der Physik, der radioaktive Zerfall von Atomkernen, in der Nationalökonomie, die Steigerung des Bruttosozialproduktes, und in der Ökologie, das Waldsterben, etc. hingewiesen werden. Darüber hinaus wird die Bedeutung dieses Prozesses z.B. auch in dem Bemühen der Konstrukteure des M.I.T.-Weltmodells deutlich, ihn in ihrem Modell zu simulieren.²

Nachfolgend werden zunächst verschiedene Wachstumsfunktionen vorgestellt. Dies geschieht in einem ersten

1 RAUCH, H.: Modelle der Wirklichkeit. Simulation dynamischer Systeme mit dem Mikrocomputer, Hannover 1985, S.9

2 Anm.: Mit diesem Hinweis soll, ohne die methodische Kritik an World 3 schmälern zu wollen, lediglich gezeigt werden, daß in dem schon diskutierten Modell in Anerkennung der Bedeutung von Wachstumsprozessen versucht wurde, diese nachzubilden bzw. diese auf dem Computer zu simulieren.

Schritt unabhängig von ihrem realen Vorkommen, d.h. die Frage, ob die konstruierten Funktionen zumindest in Teilbereichen das Verhalten eines Realsystems wiedergeben können, wird erst am Ende einer Funktionsverlaufsdarstellung unter Einbeziehung von Plausibilitätsüberlegungen beantwortet.

Daran anschließend erfolgt exemplarisch, also stellvertretend für alle anderen schon vorgestellten Modellvariablen und -elemente, eine Betrachtung von Wachstumsvorgängen der exogenen Modellgrößen und deren Eingehen in das Computersimulationsmodell.

2.1.1. ADDITIVES ODER LINEARES WACHSTUM

Unter einem additiven oder linearen Wachstum, einem mathematisch äußerst leicht erfaßbarem Vorgang, versteht man die stetige, gleichförmige positive Veränderung einer Größe, oder anders formuliert: ein additives Wachstum liegt vor, wenn sich eine Größe jeweils in gleichen Zeiten um einen ständig gleichbleibenden Betrag verändert.

"Wenn man jährlich 10.- DM in den Sparstrumpf steckt, wachsen die Ersparnisse ebenfalls linear. Die Größenzunahme ist dabei unabhängig von der bereits erreichten Größe: Jährlich steigen die Ersparnisse um 10.- DM, gleichgültig, wieviele Mark schon im Strumpf stecken."³

Additives oder lineares Wachstum läßt sich als mathema-

³ MEADOWS, D. u.a.: Die Grenzen des Wachstums ..., a.a.O., S.18

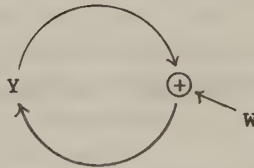
tische Gleichung folgender Art darstellen:

$$Y = Y + W$$

bzw.

$$Y = A + B \cdot X$$

Zur graphischen Veranschaulichung am Beispiel des additiven Wachstums:



Beispielsweise läßt sich ein linearer Wachstumsprozeß sich wie folgt in einem BASIC-Programm nachbilden:

a) Programmliste

```

10 REM Lineares Wachstum
20 CLS:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT
30 PRINT TAB(20)"Dieses Programm erzeugt eine lineare
   Wachstumsfunktion":PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:
40 PRINT TAB(20)"Sie starten es, wenn Sie die Return-
   Taste druecken";
50 INPUT A$
60 CLS:C$="
   "
70 CLS: SCREEN 2
80 FOR Z=20 TO 160 STEP 40
90 LINE (20,Z) - (500,Z): NEXT Z
  
```

```

100 FOR S=20 TO 500 STEP 80
110 LINE (S,1) - (S,160) : NEXT S
120 LINE (20,102) - (500,102)
130 IF I=0 THEN 170
140 LOCATE 20,1 :PRINT"Noch eine Graphik (j/n)"
150 B$=INKEY$: IF B$="" THEN 150
160 IF B$="n" OR B$="N" THEN SCREEN 0: WIDTH 80: END
170 LOCATE 21,1 :INPUT"Ordinatenabschnitt:  ";A
180 LOCATE 22,1 :INPUT"Steigung:  ";B
190 I=I+1
200 A=A+100 : FOR S=20 TO 500
210 Z=A+B*(S-20): Y=200-Z
220 PSET (S,Y) : NEXT S
230 LOCATE 20,1:PRINT C$:PRINT C$:PRINT C$:PRINT C$
240 GOTO 140

```

b) Programmvariablen

Die in diesem Programm verwendeten Variablen sind die folgenden:

A	= Ordinatenabschnitt
A\$	= Stringvariable zum Abwarten der Returnntaste
B	= Steigung
B\$	= Stringvariable zum Abwarten der Tastatureingabe
C\$	= Stringvariable zum Löschen von Zeilen im Graphikmodus (Überschreiben mit Leerzeile in der Länge des Strings)
I	= Zählindex für Programmdurchläufe
S	= Spaltenindex
Y	= 2.Koordinatenstelle
Z	= Zeilenindex

c) Programmbeschreibung

Satz 10 - 50:

Programmüberschrift, Bildschirmlöschen, Zeilenvorschub

zum Positionieren der auf dem Bildschirm auszugebenen
Programminformationen, Starten des Programms

Satz 60:

Bildschirmlöschen, Stringvariable zum Löschen durch
Überschreiben im Graphikmodus bereitstellen

Satz 70 - 120:

Umschalten in den Graphikmodus, Zeichengitter zeilen-
und spaltenweise aufbauen

Satz 130:

Verzweigung für den ersten Programmdurchlauf zu Satz
170

Satz 140 - 150:

Positionieren der auf dem Bildschirm auszugebenden An-
frage an den Benutzer, Abwarten der Tastatureingabe

Satz 160:

Bei Belegung von der Stringvariable B mit "n" oder
"N", zurückschalten in den Textmodus und Programm
beenden

Satz 170 - 180:

Andernfalls Abfrage des Ordinatenabschnittes und der
Steigung

Satz 190:

Erhöhen des Zählindex des Programmdurchlaufs

Satz 200 - 220:

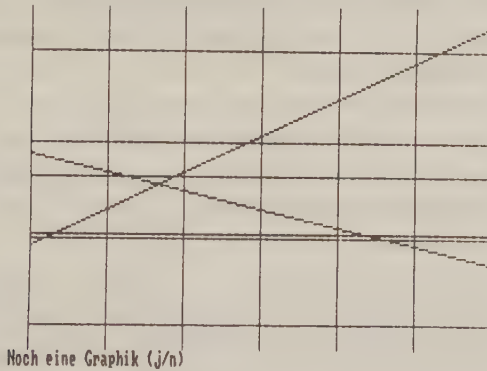
Berechnungsvorschrift der Koordinaten der Wachstums-
funktion und deren Zeichnung in das erzeugte Gitter in
einer Schleife

Satz 230 -240:

Überschreiben der in den Sätzen 140, 170 und 180 angegebenen Anfragen, Verzweigung zu Satz 140

d) Programmergebnis:

Abb.33: Lineares Wachstum



Unabhängig von den vorgegebenen Werten verläuft die Funktion immer gradlinig, wobei bei einer positiven Wachstumsgröße (Steigung) der Graph ansteigt bzw. bei einer negativen Wachstumsgröße absinkt. Wird keine Wachstumsgröße vorgegeben, zeigt sich das sog. Nullwachstum durch den Parallelverlauf des Graphen zur Zeitachse.

Zur Existenz von additivem Wachstum in der Wirklichkeit

Festzuhalten ist, daß weder in der Natur noch in anderen Bereichen additive oder lineare Wachstumsprozesse über einen längeren Zeitraum beobachtbar sind.

"Dies bedeutet, daß die so erzeugte Funktion zwar Wachstum zeigt, aber wenig Übereinstimmung mit real ablaufenden Vorgängen."⁴

Wenngleich betont werden muß, daß auch nichtlineare Funktionen in Teilbereichen durch lineare approximierbar sind.

2.1.2. Exponentielles Wachstum

Unter einem exponentiellen Wachstum versteht man einen dynamischen Prozeß, der dadurch gekennzeichnet ist, daß sich eine Größe in jeweils gleichen Zeiträumen um einen bestimmten Prozentsatz der jeweils vorigen Größe verändert.

Ein typisches Beispiel für einen exponentiellen Wachstumsprozeß ist eine Bakterienkultur, in der sich alle 2 Minuten eine Zellteilung vollzieht. Hier tritt alle 2 Minuten eine Verdopplung der Bakterienanzahl ein, d.h. ein Wachstum um einhundert Prozent: Nach den ersten 2 Minuten liegen zwei Zellen vor, nach 4 Minuten schon vier, nach 6 Minuten schon 8 usw..

Damit zeigt sich eine interessante und zugleich typische Eigenschaft exponentiellen Wachstums: Die Zeitspanne zum Verdoppeln der Wachstums- oder Untersu-

⁴ RAUCH, H.: Modelle der Wirklichkeit ..., a.a.O., S.11

chungsgröße ist unabhängig von der erreichten Größe immer konstant.

In der Literatur wird zur Veranschaulichung dieser Eigenschaft immer wieder eine alte persische Sage herangezogen, in der sich ein Höfling als Dank für sein kunstvolles Schachbrett als Geschenk an seinen König lediglich folgendes erbat: Man möge ihm auf das erste Feld dieses Schachbrettes ein Korn legen, auf das zweite die doppelte Menge, also zwei, auf das dritte vier usw.. Zwar entfallen auf das 10. Feld erst 512, aber schon auf das 21. Schachbrettfeld häufen sich über eine Millionen Körner. War der König zunächst noch erfreut über diese so bescheidene Bitte, so wurde ihm sehr schnell klar, daß er die eingegangene Verpflichtung niemals würde einlösen können.

"Wie rasch ein exponentielles Wachstum an endgültige Grenzen stößt, zeigt ein französischer Kinderreim: In einem Gartenteich wächst eine Lilie, die jeden Tag auf die doppelte Größe wächst. Innerhalb von dreißig Tagen kann die Lilie den ganzen Teich bedecken und alles andere Leben in dem Wasser ersticken. Aber ehe sie nicht mindestens die Hälfte der Wasseroberfläche einnimmt, erscheint ihr Wachstum nicht beängstigend; es gibt ja noch genügend Platz, und niemand denkt daran, sie zurückzuschneiden, auch nicht am 29. Tag; noch ist ja die Hälfte des Teiches frei. Aber schon am nächsten Tag ist schon kein Wasser mehr zu sehen."⁵

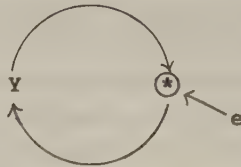
Ein exponentielles Wachstum wird mit folgender mathe-

5 MEADOWS, D. u.a.: Die Grenzen des Wachstums ..., a.a.O., S.19ff
Vgl. RAUCH, H.: Modelle der Wirklichkeit ..., a.a.O., S.13

matischen Funktion beschrieben:

$$Y = Y * (1+e)$$

Zur graphischen Veranschaulichung:



Nimmt man das im Zusammenhang zur Beschreibung des additiven Wachstums vorgestellte Beispiel des Sparens wieder auf und verändert die Bedingungen insofern, als daß nun der Betrag von 10.- DM zu sieben Prozent festverzinslich bei einer Bank angelegt wird, wächst dieses Guthaben exponentiell mit einer Verdopplungszeit von 10 Jahren.

Allgemein läßt sich ein exponentieller Wachstumsvorgang in einem BASIC-Programm wie folgt nachbilden:

a) Programmliste

```

10 REM exponentielles Wachstum
20 CLS:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT
30 PRINT TAB(15)"Dieses Programm erzeugt eine
   exponentielle Wachstumsfunktion"
40 PRINT:PRINT:PRINT:PRINT TAB(15)"Sie starten es mit
   der Returntaste";
50 INPUT A$
60 C$="
   "
70 CLS: SCREEN 2
80 FOR Z=20 TO 160 STEP 40

```

```

90 LINE (20,Z) - (500,Z): NEXT Z
100 FOR S=20 TO 500 STEP 80
110 LINE (S,1) - (S,160) : NEXT S
120 LINE (20,102) - (500,102)
130 IF I=0 THEN 170
140 LOCATE 20,1 :PRINT"Noch eine Graphik (j/n)"
150 B$=INKEY$: IF B$="" THEN 150
160 IF B$="n" OR B$="N" THEN SCREEN 0: WIDTH 80: END
170 LOCATE 21,1 :INPUT"Wachstumsrate: ";E
180 I=I+1
190 Z=100:FOR S=20 TO 500
200 Z=Z*(1+E/100):Y=200-Z
210 PSET (S,Y) : NEXT S
220 LOCATE 20,1:PRINT C$:PRINT C$:PRINT C$:PRINT C$
230 GOTO 140

```

b) Programmvariablen

Die in diesem Programm verwendeten Variablen sind die folgenden:

A\$	= Stringvariable zum Abwarten der Returntaste
B\$	= Stringvariable zum Abwarten der Tastatureingabe
C\$	= Stringvariable zum Löschen von Zeilen im Graphikmodus (Überschreiben mit Leerzeile in der Länge des Strings)
E	= Wachstumsrate oder eponentieller Faktor
I	= Zählindex für Progmmdurchläufe
S	= Spaltenindex
Y	= 2.Koordinatenstelle
Z	= Zeilenindex

c) Programmbeschreibung

Siehe Programmbeschreibung in Kapitel II.2.1.1.c) bis Satz 160

Satz 170:

Eingabeanforderung des Wertes der Wachstumsrate

Satz 180 - 190:

Erhöhen des Zählindex des Programmdurchlaufs, Beginn der Berechnungsschleife

Satz 200 - 210:

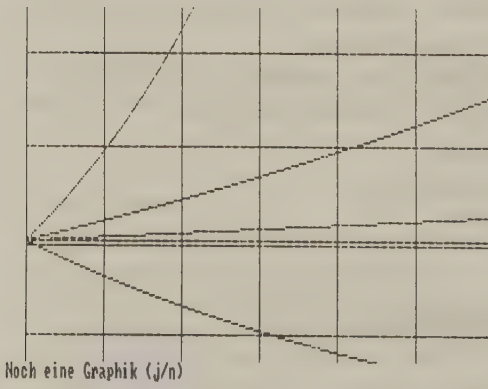
Berechnung der Koordinaten der Wachstumsfunktion und Zeichnung in das erzeugte Gitter

Satz 220 - 230:

Löschen des in den Sätzen 140 und 170 auf den Bildschirm ausgegebenen Anfragen, Verzweigung zu Satz 140

d) Programmergebnis:

Abb.34: Exponentielles Wachstum



In Abhängigkeit zur Wachstumsrate steigt oder fällt der Graph unterschiedlich schnell, d.h. zeigt der Graph eine verschieden starke Krümmung (Krümmungsgrad).

Zur Existenz exponentieller Wachstumsvorgänge in der Wirklichkeit

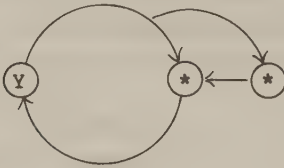
In Abhängigkeit zum Betrachtungszeitraum sind in der Realität vielfach exponentielle Wachstumsverläufe vorzufinden. Denn gerade in diesem Zusammenhang gilt es die Tatsache zu berücksichtigen, daß der entsprechende Prozeß im Zeitverlauf eine endgültige Grenze erreichen, oder daß das Wachstumsverhalten in z.B. ein explosives oder gedämpftes Wachstum umschlagen kann.

2.1.3. Explosives Wachstum

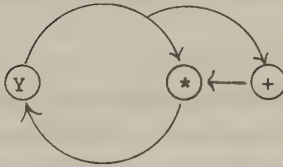
Ausgehend von der Betrachtung des exponentiellen Wachstums ergibt sich die Tatsache, daß ein Anstieg des exponentiellen Faktors (e) eine Verkürzung der Verdopplungszeit bewirkt, was nicht zuletzt anhand der graphische Darstellung dieses Zusammenwirkens deutlich wird, wenn auch nicht unbedingt sofort vorstellbar⁶:

⁶ Vgl. DÖRNER, D.: Mängel menschlichen Denkens beim Umgang mit komplexen Systemen, in: Halbach, U.: Lernspiele in der Umwelterziehung, Weinheim 1982

Zur Veranschaulichung:



oder



Als Beispiel dieses doppelten, super-exponentiellen⁷ oder explosiven⁸ Wachstums kann als die Weltbevölkerungsentwicklung herangezogen werden:

7 MEADOWS, D. u.a.: Die Grenzen des Wachstums ..., a.a.O., S.26

8 Vgl. RAUCH, H.: Modelle der Wirklichkeit ..., a.a.O., S.17

Tab.2: Weltbevölkerungsentwicklung

Vermehrung der Erdbevölkerung Zeitraum	Steigerung		Verdoppelung in ... Jahre
7000 v. Chr. - 4500 v. Chr.	von	10 Mill.	
	auf	20 Mill.	2500
4500 v. Chr. - 2500 v. Chr.	von	20 Mill.	
	auf	40 Mill.	2000
2500 v. Chr. - 1000 v. Chr.	von	40 Mill.	
	auf	80 Mill.	1500
1000 v. Chr. - Chr. Geburt	von	80 Mill.	
	auf	160 Mill.	1000
Chr. Geburt - 900 n. Chr.	von	160 Mill.	
	auf	320 Mill.	900
900 - 1700	von	320 Mill.	
	auf	600 Mill.	800
1700 - 1850	von	600 Mill.	
	auf	1200 Mill.	150
1850 - 1950	von	1200 Mill.	
	auf	2500 Mill.	100
1950 - 1980	von	2500 Mill.	
	auf	5000 Mill.	30

Quelle: Pulte, P.: Bevölkerungslehre, München 1972, S.9

In der Zeit um 1650 umfaßte die Weltbevölkerung etwa eine halbe Milliarde Menschen, mit einer Wachstumsrate von etwa 0,3 Prozent, was einer Verdopplungszeit von ungefähr 250 Jahren entspricht.

"1970 betrug die Weltbevölkerung etwa 3,6 Milliarden bei einer Wachstumsrate von 2,1 Prozent und einer Verdopplungszeit von 33 Jahren."⁹

Anhand dieser Aussagen und anhand der Tabelle zur Vermehrung der Erdbevölkerung wird klar, daß nicht nur die Weltbevölkerung exponentiell gewachsen ist,

⁹ MEADOWS, D. u.a.: Die Grenzen des Wachstums ..., a.a.O., S.26

sondern auch die Wachstumsrate Zuwächse zu verzeichnen hat. Das Weltbevölkerungswachstum kann also mit einer einfachen exponentiellen Wachstumsfunktion nicht hinreichend beschrieben werden. Darauf wird im weiteren noch eingegangen. Darüber hinaus soll der hier platzgreifende Wachstumsprozeß exemplarisch in seinem Kontext erläutert werden.

Die Bevölkerungszahl eines Landes, wie auch der Welt, wird zu Beginn einer interessierenden Untersuchungsperiode üblicherweise aus der Bevölkerungszahl des Vorjahres oder der Vorperiode zuzüglich der Geburten- sowie abzüglich aller Sterbefälle bestimmt. Wären die prozentualen Zu- und Abgänge, also die Geburten- und Sterberate einer Bevölkerung, der interessierenden Bestandsgröße, konstant und die Geburtenrate zugleich größer als die Sterberate¹⁰, könnte die Bevölkerungsentwicklung mit folgender Funktion beschrieben werden:

Bevölkerung	= BV
Bevölkerungszahl Vorperiode	= BVV
Geburtenrate	= GR
Sterberate	= SR

$$BV = BVV + BVV \cdot GR - BVV \cdot SR$$

bzw.

$$BV = BVV + BVV \cdot (GR - SR),$$

da GR und SR konstant: $GR - SR = e$ bzw.

$$BV = BVV \cdot (1 + e)$$

¹⁰ Anm.: Dies schließt den allerdings unrealistischen Fall ein, daß keine Sterbefälle vorliegen, die Sterberate also Null ist.

Wie schon festgestellt, entspricht die reale Bevölkerungsentwicklung als Folge der sich historisch verändernden Geburtenraten und Sterberaten aber gerade dem mit dieser Funktion beschriebenen Wachstumsprozeß nicht.

Im Rahmen einer Computersimulation bzw. der Konstruktion eines Computersimulationsmodells gilt es die den realen Prozeß beschreibende Funktion zu finden. In diesem Zusammenhang erscheint es sinnvoll, nach den beeinflussenden Faktoren und ihren dynamischen Zusammenhängen zu fragen:

"Je höher die Bevölkerungszahl, um so höher die Geburtenzahl; je höher die Geburtenzahl, um so höher die Bevölkerungszahl; usw. Gäbe es keine Sterbefälle, käme es zu einer ständig (exponentiell) anwachsenden Bevölkerungszahl. Dieser Zuwachs wird jedoch zumindest teilweise durch die über die Sterbefälle laufende negative Rückkoppelungsschleife kompensiert: Je höher die Bevölkerungszahl, um so größer der Zahl der Sterbefälle, um so kleiner die Bevölkerungszahl. Offensichtlich kommt es zu einem Fließgleichgewicht, wenn die Zahl der Geburten exakt gleich der Zahl der Sterbefälle ist. Überwiegt die Zahl der Geburten, so steigt die Bevölkerungszahl; überwiegt die Zahl der Sterbefälle, so sinkt die Bevölkerungszahl."¹¹

Im Hinblick auf die Erfassung bzw. die Simulation des Wachstumsprozesses in einem Modell, gilt es darüber hinaus alle die Geburten- und Sterberaten beeinflussenden Faktoren, wie z.B. Fertilität oder Nuptialität, ihrer Bedeutung entsprechend gewichtet, einzubeziehen und zugleich zu quantifizieren. Dieser Hinweis verdeutlicht noch einmal sowohl die Problematik der Mo-

11 BOSSEL, H.: Umweltdynamik. 30 Programme für kybernetische Umwelterfahrung auf jedem BASIC-Rechner, München 1985, S.35

dellkonstruktion als auch die Vorgehensweise im Rahmen der System-Dynamics-Methode. Unabhängig davon gilt es die mathematische Funktion zu finden, die einen explosiven Wachstumsprozeß der Bervölkerung beschreibt.

So könnten z.B. als Lösung folgende Funktionen vorgeschlagen werden:

$$Y = Y * (1+(e+z))$$

$$Y = Y * (1+(e*z))$$

Angesichts der Tatsache, daß $(e+z)$ wie auch $(e*z)$ zu einem Faktor e' zusammengefaßt werden können, bilden beide Funktionen wieder einen einfachen exponentiellen Wachstumsverlauf nach.

Die folgende Gleichung erfüllt im Vergleich die Anforderungen an eine Abbildung eines explosiven Wachstums besser:

$$Y = Y * (1+e+Y*p)$$

bzw.

$$Y = Y + Y*e + Y^2*p$$

Die ersten beiden Summanden der Gleichung entsprechen einem exponentiellen Wachstum, der letzte Summand löst dagegen das explosive oder super-exponentielle Wachstum aus.

Dieser Wachstumsprozeß läßt sich wie folgt in einem BASIC-Programm nachbilden:

a) Programmliste

```

10 REM explosives Wachstum
20 CLS:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT
30 PRINT TAB(15)"Dieses Programm erzeugt eine
   explosive Wachstumsfunktion"
40 PRINT:PRINT:PRINT TAB(15)"Sie starten es mit
   der Returntaste";
50 INPUT A$
60 C$="
   "
70 CLS: SCREEN 2
80 FOR Z=20 TO 160 STEP 40
90 LINE (20,Z) - (500,Z): NEXT Z
100 FOR S=20 TO 500 STEP 80
110 LINE (S,1) - (S,160) : NEXT S
120 LINE (20,102) - (500,102)
130 IF I=0 THEN 170
140 LOCATE 20,1 :PRINT"Noch eine Graphik (j/n)"
150 B$=INKEY$: IF B$="" THEN 150
160 IF B$="n" OR B$="N" THEN SCREEN 0: WIDTH 80: END
170 LOCATE 21,1 :INPUT"Exponentieller Wachstumsfaktor
   (1-10) ";E
180 LOCATE 22,1:INPUT"Explosiver Wachstumsfaktor (1-
   10) ";P
190 I=I+1
200 E=E/1000000!:P=P/100000!
210 Z=100:FOR S=20 TO 500
220 Z=Z*(1+E+Z*P):Y=200-Z
230 PSET (S,Y) : NEXT S
240 LOCATE 20,1:PRINT C$:PRINT C$:PRINT C$:PRINT C$
250 GOTO 140

```

b) Programmvariablen

Die in diesem Programm verwendeten Variablen sind die folgenden:

A\$ = Stringvariable zum Abwarten der Returntaste
 B\$ = Stringvariable zum Abwarten der Tastatureingabe

C\$ = Stringvariable zum Löschen von Zeilen im
 Graphikmodus (Überschreiben mit Leerzeile in
 der Länge des Strings)
 E = Wachstumsrate oder eponentieller Faktor
 I = Zählindex für Progmmdurchläufe
 P = Explosiver Faktor
 S = Spaltenindex
 Y = 2.Koordinatenstelle
 Z = Zeilenindex

c) Programmbeschreibung:

Siehe Programmbeschreibung in Kapitel II.2.1.1.c) bis
 Satz 160

Satz 170 - 180:

Positionieren und Ausgabe der Eingabeanforderung des
 exponentiellen und des explosiven Wachstumsfaktors

Satz 190 - 200:

Erhöhen des Zählindex des Programmdurchlaufs und Be-
 rechnungsvorbereitungen

Satz 210 -230:

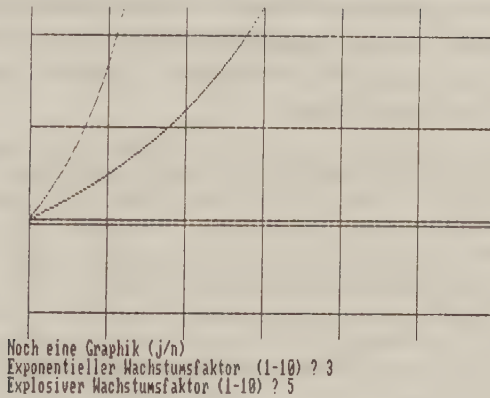
Beginn der Berechnungsschleife der Koordinaten der
 Wachstumsfunktion und deren Zeichnung in das erzeugte
 Gitter

Satz 240 -250:

Löschen der in den Sätzen 140, 170 und 180 aufgegebe-
 nen Anfragen, Verzweigung zu Satz 140

d) Programmergebnis:

Abb.35: Explosives Wachstum



In Anhängigkeit zur Größe des exponentiellen und des explosiven Wachstums erfolgt der Anstieg des Graphen, d.h. je größer e und p sind, desto größer werden die Funktionswerte.

Zur Existenz von explosiven Wachstumsprozessen in der Realität

Wie bereits angesprochen, zeigt beispielsweise die Weltbevölkerungsentwicklung einen explosiven Wachstumsverlauf, entsprechendes wird von der Umweltverschmutzung behauptet usw..

Nichtzuletzt die Aussagen des M.I.T.-Weltmodells haben darauf aufmerksam gemacht, daß ein explosives Wachstum, insbesondere das der Weltbevölkerung, nicht unbe-

grenzt fortgesetzt werden kann. Damit gilt, was schon im Zusammenhang zur Existenz von exponentiellen Wachstumsverläufen in der Wirklichkeit gesagt wurde:

In Abhängigkeit zum Betrachtungszeitraum sind in der Realität durchaus explosive Wachstumsprozesse vorfindbar, bzgl. ihrer Einschätzbarkeit bzw. ihren Auswirkungen muß man sich zumindest in Teilen den Bemerkungen Rauchs anschließen:

"Wie bereits ausgeführt wurde, können exponentielle Prozesse gefühlsmäßig kaum erfaßt werden. Dies trifft in noch viel stärkerem Maß für das explosive Wachstum zu. Es muß deshalb verlangt werden, daß insbesondere Politiker auf die meist frühzeitigen Warnungen der Wissenschaftler rasch und schnelle Gegenmaßnahmen ergreifen. Wie die Diskussion um das Waldsterben und die Katalysatorautos allerdings gezeigt hat, darf man sich in dieser Frage keine allzu großen Hoffnungen machen."¹²

2.1.4. Logistisches Wachstum

Als eine letzte Variante der Wachstumsverläufe wird nachfolgend das logistische Wachstum vorgestellt. Dieser Wachstumsprozeß ist wie folgt gekennzeichnet: zunächst wächst eine Größe exponentiell, wobei sich das Wachstumstempo zunehmend verlangsamt bis es schließlich ganz endet.

Betrachtet man beispielsweise das Langenwachstum eines Menschen, so ist die pränatale Phase weitgehend durch ein exponentielles Körperwachstum gekennzeichnet. Dieses Wachstum verlangsamt sich jedoch schon vor der Geburt und vollzieht sich danach in Schüben bis zum

¹² RAUCH, H.: Modelle der Wirklichkeit ..., a.a.O., S.17

20. Lebensjahr, in dem im allgemeinen das Längen- oder Körperwachstum eines Menschen abgeschlossen wird.

Es gilt eine mathematische Funktion zu finden, die diesen Wachstumsprozeß nachbilden kann.

So könnte man z.B. folgenden Ansatz als Lösung vorschlagen:

$$Y = Y * (1+e-1)$$

bzw.

$$Y = Y + Y*e - Y*1$$

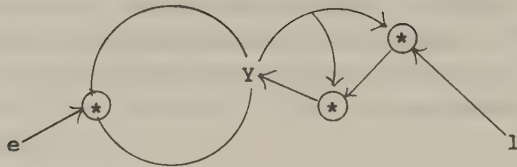
Da aber infolge der hier möglichen Faktorisierung e und 1 zu $(e-1)$ und somit zu e' zusammengefaßt werden können, würde eine solche Funktion lediglich einen exponentiellen Wachstumsverlauf nachzeichnen. Der hier eingeführte logistische Faktor muß aber unabhängig von der Größe des exponentiellen Faktors e das Wachstum begrenzen. Aus diesem Grund bietet sich als Lösung folgende Gleichung an:

$$Y = Y * (1+e-Y*1)$$

bzw.
$$Y = Y + Y*e - Y^2*1$$

"Unter der Voraussetzung, daß e und 1 positiv sind, wird der Faktor $n*1$ mit Sicherheit irgendwann zumindest genauso groß wie e - das Wachstum kommt also zum Stillstand."¹³

Zur Veranschaulichung:



Ein logistisches Wachstum läßt sich wie folgt in einem BASIC-Programm nachbilden:

a) Programmliste

```

10 REM Logistisches Wachstum
11 CLS
12 PRINT TAB(15) "Dieses Programm erzeugt eine
   logistische Wachstumsfunktion"
13 PRINT:PRINT:PRINT:PRINT TAB(15) "Sie starten es mit
   der Returnntaste";
17 INPUT A$
20 C$="
   "
30 CLS:SCREEN 2
40 FOR Z=20 TO 160 STEP 40
50 LINE (20,Z)-(500,Z) : NEXT Z
60 FOR S=20 TO 500 STEP 80
70 LINE (S,1)-(S,160) : NEXT S
80 LINE (20,102)-(500,102)
90 IF I=0 THEN 130
100 LOCATE 20,1:PRINT"Nach eine Graphik (j/n)"
110 B$=INKEY$:IF B$="" THEN 110
120 IF B$="N" OR B$="n" THEN SCREEN 0:WIDTH 80:END
130 LOCATE 21,1:INPUT "Expontieller Wachstumsfaktor
   (0.02)   ";E
140 LOCATE 22,1:INPUT "Logistischer Wachstumsfaktor
   (0.0001) ";L
150 LOCATE 23,1:INPUT "Startwert (z.B. 100)
   ";Z

```

```

160 I=I+1
170 FOR S=20 TO 500
180 Z=Z*(1+E-L*Z):Y=200-Z
190 PSET (S,Y)
200 NEXT S
210 LOCATE 20,1:PRINT C$:PRINT C$:PRINT C$:PRINT C$
220 GOTO 100

```

b) Programmvariablen

Die in diesem Programm verwendeten Variablen sind die folgenden:

A\$ = Stringvariable zum Abwarten der Returntaste
 B\$ = Stringvariable zum Abwarten der Tastatureingabe
 C\$ = Stringvariable zum Löschen von Zeilen im
 Graphikmodus (Überschreiben mit Leerzeile in
 der Länge des Strings)
 E = Wachstumsrate oder eponentieller Faktor
 I = Zählindex für Progmmdurchläufe
 L = Logistischer Wachstumsfaktor
 S = Spaltenindex
 Y = 2.Koordinatenstelle
 Z = Zeilenindex

c) Programmbeschreibung:

Siehe Programmbeschreibung in Kapitel II.2.1.1.c) bis Satz 160

Satz 170 -190:

Positionieren und Ausgabe der Eingabeanforderung des exponentiellen, des explosiven Wachstumsfaktors und des Startwertes

Satz 200:

Erhöhen des Zählindex des Programmdurchlaufs

Satz 210 - 240:

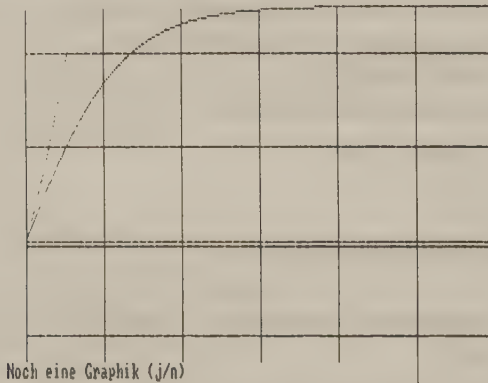
Beginn der Berechnungsschleife der Koordinaten der Wachstumsfunktion und deren Zeichnung in das erzeugte Gitter

Satz 250 - 260:

Löschen der in den Sätzen 140, 170, 180 und 190 ausgegebenen Anfragen, Verzweigung zu Satz 140

d) Programmergebnis:

Abb.36: Logistisches Wachstum



Unabhängig vom gewählten Anfangswert, konvergieren alle Kurven bei identischen Werten für l und e dem gleichen Endwert zu. Dieser Endwert läßt sich wie folgt bestimmen:

Wenn die logistische Funktion einen festen Wert annimmt, so gilt:

$$e - Y \cdot l = 0$$

daraus folgt: $e = Y \cdot l$

nach Y aufgelöst: $Y = e/l$

Damit kann festgehalten werden, daß der Endwert der logistischen Funktion ausschließlich vom Verhältnis e zu l determiniert ist. Damit ist das Programmergebnis erklärt.

Zur Existenz von logistischen Wachstumsprozessen in der Wirklichkeit

Dieses Wachstum, das durch sein "Sättigungsverhalten" charakterisiert wird, stimmt mit einer Vielzahl von Beobachtungen zumindest tendenziell überein. So können z.B. Produktabsatzverläufe durch logistische Funktionen beschrieben werden, denn gerade dieser Bereich weist oftmals eine Markt-Sättigung bzw. Absatzstagnation auf, die darüber hinaus nicht oder nicht nur auf eine dem Wachstumsprozeß immanente Gesetzmäßigkeit zurückzuführen ist, sondern vielmehr durch äußere Einflüsse ausgelöst wird.

2.2. ZEITREIHENANALYTISCHE BETRACHTUNG DES DATEN- MATERIALS IM VORFELD DER MODELLKONSTRUKTION

Nachdem der Wachstumsbegriff und verschiedene Wachstumsverläufe weitgehend unabhängig von der Konstruktion des Computersimulationsmodells vorgestellt worden sind, wird im weiteren dieser Aspekt berücksichtigt bzw. ausgeführt.

Im Rahmen der Modellentwicklung ergibt sich unmittelbar aus der Entscheidung für einen datenbasierten, also nicht konzeptbasierten¹ (vgl. Kapitel I.2.1.1.6.) Konstruktionsansatz die Notwendigkeit der statistischen Aufbereitung der Datenbasis bzw. des Datenmaterials über die interessierenden Modellgrößen.

Ausgehend davon, daß, wie schon erwähnt, überwiegend dynamische Prozesse mit der Methode der Computersimulation untersucht werden, liegt dieses Datenmaterial entweder in Form von Zeitreihen z.B. der amtlichen Statistik vor oder wird entsprechend erhoben.

"Zeitreihen, d.h. zeitlich geordnete Folgen von Beobachtungen treten in jeder wissenschaftlichen Disziplin auf, sobald die Dynamik und zeitliche Entwicklung realer Systeme empirisch untersucht wird."²

"Eine Zeitreihe stellt - so der traditionelle und intuitiv plausible Begriff - die zeitlich geordnete Abfolge der Beobachtungen von statistischen Massen dar, die Unter-

1 Anm.: In einem konzeptbasierten Ansatz würden, wenn überhaupt, zeitreihenanalytische Untersuchungen erst im Rahmen der Quantifizierung von Modellbeziehungen (Parameterschätzungen) realisiert.

2 SCHLITGEN, R./STREITBERG, B.H.J.:
Zeitreihenanalyse, München - Wien - Oldenbourg 1984,
S.VIII

schiede im zeitlich kollektivabgrenzenden Merkmal aufweisen."³

Eine statistische Masse kann z.B. die Bevölkerung eines Landes umfassen. Zählt man die statistischen Einheiten, die Staatsbürger, jedes Jahr zu einem bestimmten Zeitpunkt, bilden die Zählergebnisse eine Zeitreihe im o.g. Sinne.

In diesem Zusammenhang muß darauf hingewiesen werden, daß innerhalb der Zeitreihenmethodik, die nachfolgend in Ansätzen herangezogen, d.h. betrachtet wird, Entwicklungen stattgefunden haben, die u.a. sowohl die Auffassung über den Begriff als auch über die Erklärungsansätze für Zeitreihenbewegungen betreffen. So sieht die moderne Zeitreihenmethodik "eine Zeitreihe als eine endliche Realisation eines übergeordneten, den spezifischen Sachverhalt umfassenden, stochastischen Prozesses an"⁴.

Im Rahmen der Erklärungsansätze der Zeitreihenbewegung wird die Vorstellung der Komponentenzerlegung der traditionellen Zeitreihenanalyse bzw. -methodik zugunsten einer "ganzheitlichen stochastischen Betrachtungsweise aufgegeben"⁵.

Im Gegensatz zur traditionellen Auffassung besteht das Ziel der Zeitreihenanalyse also nicht mehr in der Erklärung der einzelnen Zeitreihenwerte durch Einflußfaktoren bzw. -gruppen, sondern es wird versucht auf

3 TIEDE, M.: Statistik. Regressions- und Korrelationsanalyse, München - Oldenbourg 1987, S.365

4 Ebenda, S.366

5 Ebenda, S.379

Anm.: Hier sind Gedankengänge, die im Rahmen der Ausführungen, die zum Zufallsprozeß gemacht wurden, übertragbar bzw. wiederzufinden.

Entsprechendes gilt für die Erläuterungen zu den stochastischen und deterministischen Modellrelationen bzw. Modellen.

den zugrunde liegenden stochastischen Prozeß und seine Eigenschaften zurückzuschließen.

Aufgrund der Tatsache, daß nachfolgend nur ein Verfahren der Zeitreihenanalyse, die Trendbestimmung, exemplarisch Anwendung findet, steht die traditionelle Zeitreihenanalyse im Vordergrund.

2.2.1. ZEITREIHENANALYSE IM VORFELD DER MODELLKONSTRUKTION

Wenn eine Variable in ihrem zeitlichen Entwicklungsverlauf in ein Computersimulationsmodell übernommen werden soll, kann dies unter Nutzung verschiedener Wege geschehen:

So können z.B. die empirische Befunde (Werte) der exogenen Variablen Periode für Periode in das Modell eingegeben werden, was aber zugleich die Verwendung des Modells für Prognosezwecke ausschließt.

Eine andere Möglichkeit besteht darin, aufgrund von Plausibilitätsüberlegungen eine Funktion in das Modell aufzunehmen, die die Entwicklung der Variablen im Zeitablauf wiedergeben oder nachzeichnen soll. Wie schon erwähnt, entspricht ein solches Vorgehen den Tabellenfunktionen im Rahmen der System-Dynamics-Methode.

Ein weiterer Weg besteht darin, das Datenmaterial bzgl. der interessierenden Modellgröße zeitreihenanalytisch zu untersuchen und z.B. nur die Trendwerte in das Modell aufzunehmen, wobei dieses Vorgehen der Pro-

gnosefähigkeit des Modells zumindest zuträglich ist. Dieser zuletzt vorgeschlagene Weg wird nachfolgend vertiefend erläutert.

Zur Trendbestimmung einer Zeitreihe

Unabhängig davon, ob man zur Erklärung der Zeitreihenbewegung den analytischen⁶ oder den empirischen⁷ Weg der traditionellen Zeitreihenanalyse wählt, kann formal ein Zeitreihenwert in folgende Komponenten zerlegt werden:

$$x_t = T_t + S_t + I_t, \quad t = 1, \dots, n.$$

Der Zeitindex wird mit t , die Trendkomponente als T_t , die Saisonkomponente als S_t und die irreguläre oder die "quasi-stochastische" Komponente als I_t bezeichnet. Bei der hier vorgestellten Gleichung handelt es sich um eine additive Verknüpfung der einzelnen Komponenten, den einfachsten Fall aller Verknüpfungsmöglichkeiten.⁸ Dabei wird angenommen, daß die Komponenten untereinander unabhängig sind.

"Die Gleichung ist unbestimmt, falls die Komponenten nicht durch zusätzliche Modelle spezifiziert werden. ... Im allgemeinen werden für T_t und S_t globale oder lokale Modelle (letztere gelten nur für bestimmte Zeitbereiche) konstruiert, in denen diese

6 Vgl. TIEDE, M.: Statistik ..., a.a.O., S.373ff

7 Ebenda, S.376ff

8 Vgl. SCHLITTGEN, R./STREITBERG, B.H.J.: Zeitreihenanalyse, a.a.O., S.9

Komponenten Funktionen des Zeitindex t darstellen, z.B.

$$T_t = a + bt, \quad t = 1, \dots, n,$$

wobei a und b beispielsweise Regressionskoeffizienten darstellen. Im vorliegenden Fall "erklärt" die Zeit statistisch die Entwicklung der Trendkomponenten. Natürlich kann die Zeit niemals der Grund für Trendkomponentenänderungen sein."⁹

Als Trend einer Zeitreihe bezeichnet man die langfristige, systematische Veränderung des mittleren Niveaus der Zeitreihe¹⁰, oder auch die Grundrichtung einer Zeitreihe unter Einbezug langfristiger Schwingungen. Interessieren im Hinblick auf die Modellkonstruktion z.B. ausschließlich die Trendwerte einer Zeitreihe, weil z.B. saisonale Schwankungen in dieser Zeitreihe nicht vorfindbar oder feststellbar oder aufgrund von Geringfügigkeit vernachlässigbar sind, gilt es die Trendfunktion zu bestimmen, worunter (formal) die Spezifizierung der Trendkomponente T_t des Zeitreihenwertes x_t mit $t = 1, \dots, n$ zu verstehen ist.

Der Einfachheit halber gehen wir im Folgenden von äquidistanten Zeitreihen¹¹ aus, in denen zu jedem Zeitindex jeweils genau ein Wert vorliegt. Darüber hinaus wird eine additiver Verknüpfung der Komponenten

9 TIEDE, M.: Statistik ..., a.a.O., S.376f

10 Vgl. SCHLITTGEN, R./STREITBERG, B.H.J.: Zeitreihenanalyse, a.a.O., S.9

11 Anm.: Unter einer äquidistanten Zeitreihe versteht man eine Zeitreihe in die Zählung der statistischen Einheiten in immer gleichen Abständen, so z.B. zum 1. Januar eines jeden Jahres, vorgenommen wurde bzw. wird.

unterstellt:

$$x_t = T_t + I_t, \quad t = 1, \dots, n.$$

Für die Zufallseinflüsse I_t wird angenommen, daß es sich um Realisationen unabhängiger Zufallsvariablen I_t handelt, deren Erwartungswerte gleich 0 sind und deren Varianz im Zeitablauf konstant bleibt.

Kann die gegebene Zeitreihe durch eine einfache Trendfunktion linearer Art angepaßt werden, wird damit z.B. bzgl. der Entwicklung einer interessierenden Variablen im Zeitablauf ein lineares Wachstumsverhalten behauptet. Geht man davon aus, daß die Auswahl einer mathematischen Funktion vom Bemühen geleitet werden sollte, "einen Funktionstyp zu wählen, der das auf der Grundlage theoretischer Vorüberlegungen Wirksamwerden der Trendfaktorengruppe am besten repräsentiert"¹², sind auch exponentielle, explosive oder logistische Wachstumsverläufe als Trendfunktionen denkbar.

Im vorliegenden Fall wurde nicht nur unter dem Gesichtspunkt der Überschaubarkeit der Ausführungen die einfachste Trendfunktion, die lineare Funktion, gewählt, sondern auch aufgrund der Tatsache, daß sich kompliziertere Wachstumsverläufe zumindest abschnittsweise durch eine solche Funktion approximiert werden können:

$$T_t = a + bt, \quad t = 1, \dots, n,$$

wobei a und b Parameter oder Koeffizienten darstellen, die es durch ein geeignetes Verfahren zu bestimmen gilt, d.h. man benötigt ein Auswahlkriterium.

In diesem Fall bietet sich das Kleinst-Quadrat-Kriterium an. Dies bedeutet, daß ausgehend von folgenden Differenzen:

$$I_t = x_t - T_t = x_t - a - bt, \quad t = 1, \dots, n,$$

diejenige Gerade gewählt wird, bei der die Summe der quadrierten Differenzen Q ein Minimum wird. Formal läßt sich diese Forderung wie folgt fassen:

$$Q = \sum_{t=1}^n (x_t - T_t)^2 \rightarrow \min!$$

bzw.

$$Q = \sum_{t=1}^n (x_t - a - bt)^2 \rightarrow \min!$$

Um die Parameter a und b schätzen bzw. punktschätzen zu können, werden sie als Funktion von Q in a und b aufgefaßt. Damit Q sowohl in a als auch in b sein Minimum annimmt, gilt es, Q sowohl nach a als auch nach b zu differenzieren und diese partiellen Ableitungen Null zusetzen:

Damit erhalten wir folgende Normalgleichungen, wobei

deren Auflösung die Parameter bestimmen:

$$\sum_{t=1}^n (x_t - a - bt) = 0$$

$$\sum_{t=1}^n t(x_t - a - bt) = 0$$

$$a = \bar{x} - b\bar{t}$$

$$b = \frac{\sum (x_t - \bar{x})(t - \bar{t})}{\sum (x_t - \bar{x})^2} \quad \text{oder} \quad b = \frac{\text{cov}(x, t)}{\text{var}(x)}$$

Bzgl. der Güte diese Punktschätzung sind verschiedene Beurteilungskriterien, wie Erwartungstreue, Konsistenz und Effizienz, entwickelt worden. Tiede verweist in diesem Zusammenhang darauf, daß die Methode der kleinsten Quadrate zu erwartungstreuen Schätzwerten führt, die Schätzfunktionen A und B eine minimale Varianz besitzen etc..¹³

Abschließend ist darauf zu verweisen, daß die vorgestellten zeitreihenanalytische Aufbereitungen des Datenmaterials bzw. statistische Methoden teilweise im Hinblick auf die Parameterschätzungen der Modellbeziehungen Anwendung finden.

Nachdem sowohl der Wachstumsbegriff, verschiedene Wachstumsverläufe und deren Transformation in Computerprogramme gezeigt als auch die zeitreihenanalyti-

¹³ Vgl. TIEDE, M.: Statistik ..., a.a.O., S.153f

terprogramme gezeigt als auch die zeitreihenanalytische Aufbereitung des Datenmaterials im Vorfeld der Modellkonstruktion zumindest in Ansätze erläutert wurde, erfolgt in einem nächsten Schritt die Vorstellung eines Bausteins mit Realbezug.

Dieser Baustein bzw. das nachfolgende BASIC-Programm zur Bevölkerungsentwicklung kann insofern als ein Simulationsbaustein aufgefaßt werden, als daß hier eine sozialwissenschaftliche Hypothese in ein zugegebenermaßen kleines Computersimulationsprogramm übertragen wird, dessen Ergebnisse, quasi als simulierter Elementarprozeß, in einem nächsten Schritt in eine größere Simulation einfließen könnten.

2.3. SIMULATIONSBAUSTEIN AUS DER EMPIRISCHEN SOZIAL- FORSCHUNG AM BEISPIEL EINES EINFACHEN BEVÖLKERUNGSMODELLS

Im Anschluß an die theoretischen und programmtechnischen Vorbereitungen soll nun anhand eines Beispiels demonstriert werden, wie die Modellentwicklung und die Umsetzung des Modells in ein lauffähiges BASIC-Programm aussehen können. Zu diesem Zweck wurde ein einfaches und überschaubares Beispiel gewählt, nämlich ein Modell zur Prognose der Bevölkerungsentwicklung in der Bundesrepublik Deutschland.

Aufgrund der Tatsache, daß zeitliche Entwicklungsprozesse dargestellt werden sollen, handelt es sich also bei einem solchen Modell um ein dynamisches Modell. Wie schon erwähnt sind solche dynamischen Systeme im sozialwissenschaftlichen Bereich nicht so einfach darstellbar oder modellierbar wie etwa im technischen Bereich. Deshalb wird im weiteren eine sehr einfache, aber gleichwohl begründbare Modellstruktur präferiert.

Bevor das Modell entwickelt wird, gilt das Interesse in einem ersten Schritt der sozialwissenschaftlichen Relevanz des Themas Bevölkerungsentwicklung, der Begriffklärung und den statistischen Ausgangsdaten.

2.3.1. SOZIALWISSENSCHAFTLICHE RELEVANZ DES THEMAS UND BEGRIFFSKLÄRUNG

Nicht zuletzt die Ausführungen zum M.I.T.- Weltmodell belegen die sozialwissenschaftliche Relevanz der Be-

völkerungsentwicklung und zwar weitgehend unabhängig davon, ob sie in einem Land oder länderübergreifend, d.h. auf der ganzen Welt betrachtet wird.

Die Bevölkerungsentwicklung interessiert unter verschiedenen sozialwissenschaftlichen Gesichtspunkten. Im sozialpolitischen Bereich ist sie im Hinblick auf den Generationenvertrag der Gesetzlichen Rentenversicherung von entscheidender Bedeutung, aber auch unter arbeitsmarktpolitischen Aspekten, z.B. mit welchem Arbeitskräftepotential in Zukunft gerechnet werden muß, wird sie wiederholt zum Untersuchungs- oder Betrachtungsgegenstand.

Pointiert formuliert Hanefeld¹:

"Die Bevölkerungsentwicklung ist von zentraler Bedeutung für viele wirtschafts- und sozialpolitische Bereiche. Ob es um die Ermittlung des Erwerbspersonenpotentials, die Entwicklung von Einnahmen und Ausgaben der Rentenversicherung, die Abschätzung von Wirkungen sozialpolitischer Maßnahmen, die Fragen des Bildungssystems, des Gesundheitssystems oder der Wohnungsversorgung geht, die demographische Entwicklung ist stets eine wichtige Größe, von der die Entwicklungen innerhalb der Bereiche entscheidend beeinflusst werden. Die sich derzeit abzeichnende Bevölkerungsentwicklung mit einer Abnahme der deutschen Bevölkerung, einer Zunahme der ausländischen Bevölkerung, einer starken Verschiebung der Altersstruktur ... und sich wandelnden Lebensformen ... läßt einschneidende Strukturverschiebungen in vielen Bereichen erwarten."

Ohne ihre Bedeutung für alle Bereiche der Sozialwissenschaft vollständig anführen zu können, kann zusammenfassend gesagt werden, daß eine Wissenschaft, die sich sowohl mit dem Individuum als auch mit der Ge-

1 HANEFELD, U.: Das Sozio-ökonomische Panel. Grundlagen und Konzepte, Frankfurt am Main - New York 1987, S.39

sellschaft auseinandersetzt, sich mit den verschiedenen Aspekten einer Bevölkerungsentwicklung nicht zuletzt deshalb beschäftigen muß, weil dies ihr Aufgabengebiet ganz oder zumindest teilweise tangiert.

2.3.2. AUSGANGSDATEN

Folgendes Datenmaterial liegt vor:

Tab.4: Bevölkerungsentwicklung in der Bundesrepublik Deutschland von 1971 bis 1986

<u>im Jahr</u>	<u>in Millionen</u>
1971	61.20
1972	61.67
1973	61.98
1974	62.05
1975	61.83
1976	61.53
1977	61.40
1978	61.33
1979	61.36
1980	61.57
1981	61.68
1982	61.64
1983	61.42
1984	61.18
1985	61.02
1986	61.14

Quelle: Institut der deutschen Wirtschaft (Hrsg.):
Zahlen zur Wirtschaftlichen Entwicklung der
Bundesrepublik Deutschland 1988, Köln 1988,
S.4

2.3.3. ZUR MODELLENTWICKLUNG

In einer ersten gedanklichen Skizze kann man zu der Vorstellung gelangen, daß die Bevölkerungszahl zum Zeitpunkt t , also $B(t)$, abhängt von der Bevölkerungszahl der Vorperiode $B(t-1)$ und von der Wachstumsrate zum Zeitpunkt t , die mit $r(t)$ bezeichnet werden soll, also:

$$(1) \quad B(t) = f(B(t-1), r(t))$$

In einem nächsten Schritt gilt es die Funktion zu spezifizieren.

Im Bereich der empirischen Sozialforschung bzw. der Sozialwissenschaften überhaupt kann dies auf dreierlei Arten geschehen: Entweder ist die interessierende Funktionalbeziehung mathematisch spezifiziert (beispielsweise ist der Frauenanteil in einer Population notwendigerweise immer $1 - \text{Männeranteil}$ und damit spezifiziert, ohne daß der Wert bzw. Anteilswert explizit angegeben wurde), oder sie kann auf Grundlage statistischer Daten geschätzt werden, wie im Kapitel zuvor schon ausgeführt wurde, oder sie kann als eine Tabellenfunktion (System-Dynamics), deren konkrete mathematische Gestalt aufgrund von Plausibilitätsüberlegungen bestimmt wird, vorgegeben werden.

Zunächst kann die erste Modellfunktion ohne weiteren Schätzaufwand wie folgt spezifiziert werden:

$$(1) \quad B(t) = B(t-1) + r(t) * B(t-1)$$

Desweiteren stellt sich die Frage, wovon die Bevölkerungswachstumsrate $r(t)$ ihrerseits beeinflußt wird bzw. abhängt. Um allen komplizierten inhaltlich-theoretischen Erläuterungen auszuweichen (was an dieser Stelle zuweit führt), wird der Einfachheit halber davon ausgegangen, daß diese Wachstumsrate ihrerseits von der schon erreichten Bevölkerungszahl abhängt, also:

$$(2) \quad r(t) = f(b(t-1))$$

In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, daß schon bei diesem kleinen - und sicherlich noch recht unrealistischen - Beispiel deutlich wird, daß die Formulierung der analytischen Form einer Modellbeziehung, d.h. die Herleitung ihrer mathematischen Form, nichts anderes ist als die Formulierung einer empirischen Hypothese. In Abhängigkeit zur Modellgüte wird das fertige Modell in der Lage sein, die reale Entwicklung, die ja zumindest für die Vergangenheit bekannt ist, nachzuzeichnen, wodurch die Hypothesen bestätigt oder verworfen werden können. Im letzteren Fall kann ein erneuter Versuch mit alternativen Modellbeziehungen gestartet werden.

Zieht man nun die modelltheoretischen Erläuterungen des ersten Teils heran, wird klar, daß hier zum einen derjenige Modellbegriff genutzt wird, der ein Modell einem Hypothesengebäude gleichsetzt, zum anderen dient die Computersimulation in diesem Sinn als Testverfahren zur Beurteilung von Hypothesen oder auch zur Hypothesengenerierung.

Die Herleitung der analytischen Form der Beziehung (2), der Wachstumsrate, erfordert eine statistische Untersuchung, in der empirische Größen (Modelldatenbasis) zur Entwicklung der Bevölkerungsraten und der Bevölkerungszahl in der BRD einander gegenübergestellt werden.

Denkbar wäre allerdings auch, daß diese erforderlichen Daten auf der Grundlage einer Querschnittsanalyse bereitgestellt werden (wie hängen Bevölkerungswachstumsrate und Bevölkerungszahl über mehrere Länder hinweg betrachtet miteinander zusammen?). Merkmalswerte sind dann Länder, Staaten oder Regionen und nicht etwa Zeitperioden, was mit dem Vorteil verbunden wäre, daß einige spezielle zeitreihenanalytische Probleme, z.B. das Problem der Multikollinearität² oder das Problem des gemeinsamen Trends bei dem Vergleich von zwei Zeitreihen, nicht berücksichtigt werden müssen.

Die Präferierung von Längsschnittsdaten und die Gegenüberstellung der Bevölkerungsraten und der Bevölkerungszahl wirft zwar diese Probleme auf, jedoch erscheinen sie im vorliegenden Fall vernachlässigbar. So haben Alternativberechnungen mit Querschnittsdaten als Ergebnisse Parameterwerte generiert, die weitgehend denjenigen entsprechen, die nachfolgend mit Längsschnittsdaten erzielt werden, was in diesem Fall als ein Hinweis darauf verstanden werden kann, daß eine Berücksichtigung der angesprochenen zeitreihenanalytischen Probleme nicht unbedingt erforderlich ist.

Wie auch immer man vorgeht, das Ziel ist, die Parameter der mathematischen Funktion zwischen $r(t)$ und $B(t-1)$ zu schätzen.

² Vgl. TIEDE, M.: Statistik ..., a.a.O., S. 101, S.206-210, S.222

Wie bereits erwähnt, kann im einfachsten Fall dafür eine lineare Funktion verwendet werden, so daß deren Aschenabschnitt und ihre Steigung aus dem statistischen Material mit den Methoden der Regressionsrechnung geschätzt werden können.

Benutzt man die Daten der BRD, so ergeben sich nach der Anwendung der im vorigen Kapitel vorgestellten und entwickelten Formel folgende Parameterwerte:

$$a = 0.056, \quad b = - 0.0008$$

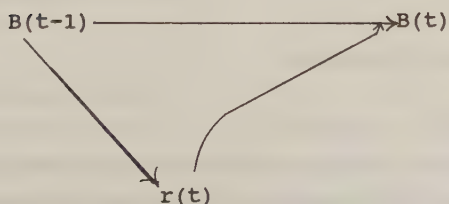
$$(2) \quad r(t) = 0.056 - 0.0008 * B(t-1)$$

Damit sieht das einfache Prognosemodell wie folgt aus:

$$(1) \quad B(t) = B(t-1) + r(t) * B(t-1)$$

$$(2) \quad r(t) = 0.056 - 0.0008 * B(t-1)$$

Zur graphischen Veranschaulichung:



Im Folgenden werden die Komponenten eines derartigen Modells näher erläutert. Diese Komponenten sind die folgenden:

1. Modellvariablen

Als Modellvariablen werden diejenigen Größen bezeichnet, die als abhängig (bzw. beeinflusst) von anderen Variablen oder Konstanten angesehen werden. Im obigen Modell handelt es sich um die Größen $B(t)$ und $r(t)$.

2. Modellkonstanten

Es handelt sich hier nur um diejenigen Größen, die als konstante Werte in einem Modell benutzt werden. Die wichtigsten dieser Größen sind bei zeitabhängigen Modellen die Startwerte der Variablen - diejenigen Größen also, die von einer gegebenen Startsituation ausgehend, das spezifizierte Modell "zum Laufen" bringen, anstoßen oder auch auslösen.

In diesem einfachen Beispiel zur Bevölkerungsentwicklung geht als Startwert die "erste" Bevölkerungszahl $B(t-1)$ ein, die vorgegeben werden muß (z.B. die Bevölkerungszahl der BRD im Jahre 1950), damit die folgenden Werte $B(t)$ (Bevölkerungszahl 1951, 1952, usw.) dann mit Hilfe des Modells "produziert" werden können.

3. Exogene Variablen

Wie schon an anderer Stelle dieser Arbeit ausgeführt, handelt es sich hier um solche Modellvariablen, die nicht von anderen Variablen des Modells beeinflusst

werden, somit quasi "von außen" vorgegeben werden (vgl. Kapitel I.2.2.3.).

4. Modellparameter

Darunter versteht man diejenigen Größen des Modells, die der Modellbenutzer bei Simulations- oder Planungsmodellen alternativ besetzen kann, um etwa zu prüfen, wie daraufhin das Modell reagiert. Bei Prognosemodellen wie hier spielt dies allerdings keine Rolle. Man könnte sich aber vorstellen, daß beispielsweise die Parameter der Funktion (2), der Achsenabschnitt und die Steigung der linearen Beziehung oder eine generelle Änderung dieses Funktionstyps überhaupt in Frage kommen könnten.

5. Modellbeziehungen

Es handelt sich hierbei um die modell-funktionalen Abhängigkeiten zwischen den Modellvariablen und somit um die Modellstruktur, da diese, wie schon erläutert, sich aus den Modellrelationen zusammensetzt. Im obigen Beispiel sind dies die Beziehungen (1) und (2). In der graphischen Präsentation von Modellen werden diese Modellrelationen als Pfeile dargestellt, die zudem auch die Richtung der jeweiligen Abhängigkeiten angeben (siehe obige Skizze).

Zur Problemanalyse

Die problemanalytischen Überlegungen, um das einfache Prognosemodell zur Bevölkerungsentwicklung in der BRD, wie es im vorangegangenen Abschnitt vorgestellt wurde,

computergestützt, d.h. unter Nutzung eines BASIC-Programms verwenden zu können, sind sehr einfach. Sie lassen sich in folgende Fragen, die z.T. schon indirekt angesprochen worden sind, unterteilen:

1. Welche Variablen sollen in das Modell aufgenommen werden?

Diese Frage wurde schon damit beantwortet, daß die denkbar einfachste Modellstruktur gewählt wurde, indem lediglich die Bevölkerungszahl und die Bevölkerungswachstumsrate als Variablen Verwendung finden. Natürlich darf dabei nicht übersehen werden, daß auch andere Variablen die Bevölkerungsentwicklung beeinflussen, so z.B. sozio-ökonomische, politische und demographische Variablen, vielleicht auch klimatische Bedingungen usw.. Es ist also nicht schwierig, zu einem komplizierten Modell zu gelangen - ungleich schwieriger ist es aber, damit umzugehen, weshalb hier, wo der exemplarischen Gesichtspunkt im Vordergrund steht, darauf verzichtet werden soll.

2. Welches sind die Modellbeziehungen?

Bzgl. der Frage, zwischen welchen Variablen Relationen modellmäßig hergestellt werden sollen (bzw. in der Realität existieren), gilt im Prinzip die gleiche Argumentation wie beim vorhergehenden Punkt. Die in diesem einfachen Bevölkerungsmodell unterstellten Beziehungen sind durch die Pfeile in der graphischen Präsentation verdeutlicht bzw. abgebildet.

3. Von welchem Typ sind diese Beziehungen?

Auch diese Frage ist aufgrund theoretischer Überlegungen zu entscheiden und hat in dem verwendeten Beispiel zu der Feststellung geführt, daß die erste Beziehung schlicht eine mathematische Identität sein muß, wohingegen die zweite aus statistischen Daten zu schätzen ist.

Darüber hinaus sind unter problemanalytischen Aspekten (jetzt auf das zu entwerfende BASIC-Programm rekurrierend) nach diesen eher theoretischen Überlegungen die folgenden Fragen relevant:

4. Wie umfangreich wird das Programm?

Hier gilt es zu entscheiden, ob beispielsweise die Schätzungen der Parameter der Funktionen Teil des Programms sein sollen, oder ob es sich nur auf das "fertige" Modell selbst bezieht.

5. Welches ist der Prognosehorizont?

Hier ist festzustellen, über wieviele Perioden das Prognosemodell, d.h. das Programm also, "laufen" bzw. wieviele Periodenergebnisse es ausgeben soll.

6. Welche Ausgabenpräsentation ist gewünscht?

Hier gilt es zu entscheiden, ob eine tabellarische

Ausgabe oder ob eine graphische Präsentation, oder ob beides gewünscht wird.

2.3.4. PROGRAMM

In diesem Abschnitt wird ein BASIC-Programm vorgestellt, welches das einfache Bevölkerungsprognosemodell, das oben entwickelt worden ist, rechnergestützt verwirklicht, d.h. es wird ein interessierender Elementarprozeß als Computersimulation demonstriert. Unter Einbezug der entwickelten Funktionalbeziehungen, (1) und (2), gelangt man zu folgendem Programm:

a) Programmliste

```

10 REM Bevölkerungsprognose für die BRD
30 CLS
40 PRINT"Dieses Programm prognostiziert die
   Entwicklung"
50 PRINT"der Bevölkerungszahl der Bundesrepublik"
60 PRINT"beginnend mit dem Jahr 1950." : PRINT : PRINT
70 INPUT "Welches soll das letzte Jahr sein ";T : T =
   T-1950
80 DIM R(T),B(T)
85 B(0) = 50.81 : REM Startwert, Bev.in Millionen,
   1950
90 CLS : PRINT"Jahr","Rate (%)","Bevölkerung" : PRINT
100 FOR I = 1 TO T : J = 1950+I
110 R(I) = .051-.0008*B(I-1)
120 B(I) = B(I-1)+R(I)*B(I-1)
125 R(I)=INT(R(I)*10000+.5)/100
130 PRINT J,R(I),B(I)
140 IF I/15 = INT(I/15) THEN GOSUB 1000 : REM Warten
150 NEXT I
160 GOSUB 1000 : REM Warten
200 REM Graphische Ausgabe
210 CLS : SCREEN 2
220 LINE (1,1)-(1,160) : LINE (1,100)-(400,100)
230 D=INT(400/T)
240 FOR I=2 TO T

```

```

250 S1 = (I-1)*D : S2 = S1+D
260 B1 = 100-B(I-1) : B2 = 100-B(I)
270 R1 = 100-R(I-1)*40 : R2 = 100-R(I)*40
280 LINE (S1,B1)-(S2,B2)
290 LINE (S1,R1)-(S2,R2)
300 NEXT I
302 LOCATE 3,55 : PRINT"B"
304 LOCATE 7,55 : PRINT"R"
310 GOSUB 1000 : REM Warten
320 SCREEN 0 : WIDTH 80 : CLS
330 PRINT"Ende des Programms" : END
1000 REM Unterprogramm Warten
1010 LOCATE 22,20
1020 INPUT "Weiter mit der Return-Taste";A$
1030 CLS : RETURN

```

b) Programmvariablen

Die in diesem Programm verwendeten Variablen sind die folgenden:

A\$ = Stringfeld zur Antwortaufnahme des Benutzers
 B() = Bevölkerungszahl in Millionen
 B1 = Zeilenwert für den jeweils ersten Bevölkerungs-
 wert
 B2 = Zeilenwert für den jeweils zweiten Bevölkerungs-
 wert
 D = Schrittweite von Spalte zu Spalte in der Graphik
 I = Laufindex in Programmschleifen
 J = Periodenzähler (Jahr)
 R() = Bevölkerungswachstumsrate (in Prozent)
 R1 = Zeilenwert für die jeweils erste Wachstumsrate
 R2 = Zeilenwert für die jeweils zweite Wachstumsrate
 S1 = Erster Spaltenwert
 S2 = Zweiter Spaltenwert
 T = Zeithorizont

c) Programmbeschreibung

Satz 10 - 60:

Überschrift des Programms, Vorgabe eines Startwertes für die Bevölkerungsentwicklung, Löschen des Bildschirms und Ausgabe eines erläuternden Kommentars

Satz 70:

Eingabe des Prognosehorizonts und Umrechnung dieser Werte, so daß die Beziehung $1950 = 0$ gilt

Satz 80 - 90:

Dimensionierung der für das Programm erforderlichen Speicherfelder, Löschen des Bildschirms und Ausgabe einer Tabellenüberschrift

Satz 100 - 130:

Beginn der Rechenschleife, Berechnung der Wachstumsrate und der Bevölkerungszahl, Ausgabe der Ergebnisse

Satz 140 - 150:

Unterbrechung der Ausgabe nach je 15 Perioden, Ende der Rechenschleife

Satz 200 - 210:

Überschrift zum Programmteil, Löschen des Bildschirms, Umschalten in den Graphik-Modus

Satz 220 - 230:

Zeichnen des Achsenkreuzes, Berechnung der Spaltenschnittweite

Satz 240 - 300:

Zeichenschleife, in der die Koordinaten der Variablenwerte bestimmt werden

Satz -310:

Ausgabe der Bevölkerungsanzahl und der Wachstumsrate,
Sprung ins Unterprogramm 1000

Satz 320 - 330:

Zurückschalten in den Textmodus, Ende des Hauptprogramms

Satz 1000:

Beginn des Unterprogramms "Warten", das dazu dient, die Programmausführung und damit die Ausgabe von Ergebnissen zu unterbrechen, bis der Benutzer die Return-Taste drückt

Satz 1010 - 1030:

Positionierung des Cursors, Anforderung der Return-Taste, Bildschrimlöschen, Ende des Unterprogramms bzw. Rücksprung ins Hauptmenü

d) Programmergebnisse

Wird dieses Programm mit dem Kommando RUN gestartet, so wird nach der Ausgabe einer Überschrift zunächst der Prognosehorizont vom Benutzer angefordert. Gibt dieser daraufhin z.B. das Jahr 1995 ein, so ergibt sich die folgende Tabelle:

Abb.37: Anfang der Häufigkeitstabelle

Jahr	Rate (%)	Bevoelkerung
1951	1.04	51.33599
1952	.99	51.84582
1953	.95	52.33956
1954	.91	52.81734
1955	.87	53.27929
1956	.84	53.72558
1957	.8	54.15644
1958	.77	54.57208
1959	.73	54.97277
1960	.7	55.35877
1961	.67	55.7304
1962	.64	56.08795
1963	.61	56.43175
1964	.59	56.76213
1965	.56	57.07945

Weiter mit der Return-Taste?

Drückt man jetzt die Return-Taste, wird die Tabelle mit den Jahren 1966 bis 1980 fortgesetzt und danach erneut unterbrochen. Betätigt man erneut die Return-Taste, erscheint der Rest der Tabelle auf dem Bildschirm, deren unteres Ende wie folgt aussieht:

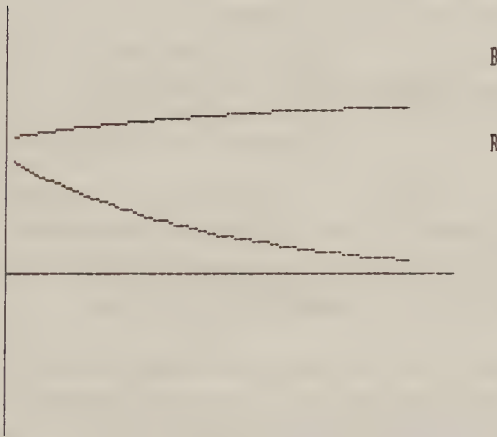
Abb.38: Ende der Häufigkeitstabelle

1981	.26	60.67144
1982	.25	60.82087
1983	.23	60.96339
1984	.22	61.0993
1985	.21	61.22896
1986	.2	61.35235
1987	.19	61.47003
1988	.18	61.58216
1989	.17	61.68896
1990	.16	61.79067
1991	.16	61.88753
1992	.15	61.97974
1993	.14	62.06752
1994	.13	62.15106
1995	.13	62.23056

Weiter mit der Return-Taste?

Wird nun die Return-Taste ausgelöst, beginnt die Ausgabe der hochauflösenden Graphik, die zu folgendem Bild führt:

Abb.39: Graphik



Weiter mit der Return-Taste? ■

3. DIFFUSIONSPROZESSE

Nachdem zuvor Zufalls- und Wachstumsprozesse betrachtet worden sind, interessieren abschließend Diffusionsprozesse, die es ebenfalls wiederholt im Rahmen der Computersimulation zu modellieren gilt.

3.1. ZUM DIFFUSIONSBEGRIFF

Das Wort "Diffusion" ist lateinischen Ursprungs und läßt sich mit "Auseinanderfließen" übersetzen, wenngleich damit die Bedeutung dieses Begriffs nicht in seiner ganzen Dimension erfaßt wird.

Darüber hinaus wird die Begriffsklärung durch die Tatsache erschwert, daß dieser Begriff in vielen wissenschaftlichen Disziplinen Eingang gefunden hat. So versteht man in der Chemie unter Diffusion den ohne äußere Einwirkung eintretenden Ausgleich von Konzentrationsunterschieden in Flüssigkeiten, in der Physik die Streuung des Lichts, in der Meteorologie den Weteraustausch, sowie bei der Zuckerherstellung die Auslaugung.

In den Geistes- bzw. Sozialwissenschaften wird dieser Begriff in mehr informationstheoretischen Sinne verwandt, der allerdings gewisse Ähnlichkeit zu seiner Bedeutung im Rahmen der Chemie aufweist.

Hier kann Diffusion mit Verbreitung übersetzt werden und interessiert z.B. insbesondere im Rahmen der interdisziplinären Innovationsforschung, deren Aufgabe

die Erklärung der Verbreitung von Neuerungen ist. Fragt man, welche Neuerungen untersucht werden, wird der sehr umfassenden Raum der Diffusions- bzw. Innovationsforschung aufgeschlossen: Nachrichtenverbreitung, Meinungsbildungsprozesse bilden ebenso den Betrachtungsgegenstand wie die Diffusion von technischen Innovationen, wie z.B. die Verbreitung von Praxiscomputern bei niedergelassenen Kassenärzten, die Verbreitung von Kabelfernsehen oder von Btx etc.. Oder, anders formuliert,:

"Innovationen sind Ideen, Techniken oder Produkte aber auch Theorien, die als neu perzipiert werden."¹

3.2. ZUR BEDEUTUNG VON DIFFUSIONSPROZESSEN IN DER INNOVATIONSFORSCHUNG

"Die Forschung zur Erklärung der Verbreitung von Neuerungen hat sich nach ersten Impulsen durch G.Tarde (1903) in sechs «Traditionen» relativ unabhängig voneinander entwickelt. Der geographische Schwerpunkt der durchgeführten Forschungsarbeiten sind bis heute die Vereinigten Staaten von Amerika geblieben."²

Bei diesen sechs wissenschaftlichen Bereichen, die im unterschiedlichen Maß die Innovations- bzw. ihr Teilgebiet, die Diffusionsforschung, weiterentwickelt haben, handelt es sich im Einzelnen um folgende:

1 DERSCHKA, P./STÖBER, A.: Organisation & Information. Sozialwissenschaft in der Anwendung - eine empirische Untersuchung, Konstanz 1978, S.14

2 SCHMIDT, P. (Hrsg.): Innovation. Diffusion von Neuerungen im sozialen Bereich, Hamburg 1976, S.8

Anthropologie:

Schwerpunktmäßig interessierte hier die Untersuchung der Verbreitung von Innovationen von einer in eine andere Gesellschaft, also nicht die Diffusion von Neuerungen innerhalb einer Gesellschaft. Mit besonderer Intensität untersuchte man dabei die Verbreitung westlicher Ideen und Technologien bei sogenannten primitiven Gesellschaften.

"Auf einen Aspekt haben die Anthropologen aufmerksam gemacht, den die anderen Diffusionsforscher viel zu wenig beachtet haben: Welche Konsequenzen und Nebeneffekte hat eine Neuerung. Sharps Studie (1952) der Wirkung der Einführung der Stahlaxt bei der australischen Urbevölkerung auf deren Sozialstruktur sucht ihresgleichen in der übrigen Diffusionsforschung. Es zeigt sich nämlich in dieser Studie, daß die eingeführte Neuerung Konsequenzen hatte, die den ursprünglichen Intentionen genau entgegengesetzt waren."³

Soziologische Forschung in den USA 1920 - 1940:

In diesem Zeitraum interessierte in der amerikanischen Soziologieforschung, inwieweit die Diffusion von Innovationen einer S-förmigen Kurve folgt. Man untersuchte bei einzelnen Neuerungen, wie z.B. neuen Schulgesetzen oder neuen Organisationsformen der Stadtverwaltung deren geographische Verbreitung, wobei die Einheiten der soziologischen Analyse in Abhängigkeit zur Untersuchungsfrage sowohl Individuen als auch soziale Aggregate wie Gemeinden oder Städte bildeten. Erklärungsziel war der unterschiedliche Zeitpunkt der Innovationsrealisierung bzw. -übernahme.

3 SCHMIDT, P. (Hrsg.): Innovation ..., a.a.O., S.9
Anm.: Hier verweist Schmidt auf: Sharp, L.L.: Steel Axes for Stone Age Australians, in: Spicer, E.H. (Hrsg.): Human Problems in Technological Change, New York 1952

Agrarsoziologie:

Hier bildete das praktische Problem, wie von Agrarwissenschaftlern entwickelte Innovationen den potentiellen Abnehmern oder Anwendern, den Landwirten also, bekanntgemacht werden konnten und "diese darüber hinaus motiviert werden könnten, diese Neuerungen bei sich zu erproben"⁴ den Schwerpunkt des Interesses. Im Rahmen der Forschungsarbeiten, wie z.B. von Ryan und Gross (1943)⁵ oder Gross (1942)⁶, wurde verschiedene Stufenmodelle der Übernahme (Diffusionsmodelle) entwickelt, in denen man meist drei Stadien bzw. Stufen unterschied: 1. Stufe Wahrnehmung der Innovation; 2. Stufe Probeanwendung; 3. Stufe Übernahme oder Ablehnung.

Erziehungswissenschaft:

Mittelpunkt der Forschungen in diesem Bereich bildete zum einen die Frage, was die Innovationsrate im Schulbereich beeinflußt und zum anderen, was die Ursache für die durch empirische Untersuchungen nachgewiesene Entwicklung war, daß sich die Annahme erziehungswissenschaftlicher Ideen nicht nur vergleichsweise, sondern überaus langsam vollzog. Im Zusammenhang mit der letztgenannten Frage wurde z.B. festgestellt, daß erziehungswissenschaftliche Innovationen als nicht so wissenschaftlich abgesichert gelten wie beispielsweise agrarwissenschaftliche. Darüber hinaus gebe es in diesem Bereich keine Agenten des sozialen Wandels (change

4 SCHMIDT, P. (Hrsg.): Innovation ..., a.a.O., S.9

5 Vgl. RYAN, B./GROSS, N.C.: The Diffusion of Hybrid Seed Corn in Two Iowa Communities, Rural Sociology 8, 1943, S.15-24

6 Vgl. GROSS, N.C.: The Diffusion of a Culture Trait in two Iowa Townships, M.A. Thesis, Ames, Iowa State University 1942

agents), die die Diffusion forcieren würden.

"Drittens fehle es im Schulsystem an ökonomischen Belohnungen für die Einführung von Neuerungen."⁷

Wirtschaftswissenschaft:

Auch hier interessierten die Verbreitung von Innovationen (allerdings mehr technischer Art) und zwar in Abhängigkeit zur Unternehmensgröße.

Medizinsoziologie:

Schwerpunktmäßig wurde hier die Frage untersucht, wie sich neue Medikamente verbreiten.

Als einer der herausragendsten Studien dieser Forschungstradition ist in diesem Zusammenhang die Arbeit von Coleman, Katz und Menzel (1957 und 1966)⁸ zu nennen, in der untersucht wurde, von welchen Variablen es abhing, daß Ärzte als erste oder als letzte neue Medikamente verschrieben.

"Methodologisch kam aus dieser Forschungstradition der Impuls, Hypothesen zur Erklärung individuellen Verhaltens durch individuelle Merkmale mit Merkmalen des sozialen Kontexts zu verbinden."⁹

In der Literatur hat es seit Anfang der sechziger Jahre verschiedene Integrationsversuche der Forschungsansätze gegeben. Ohne darauf im Einzelnen einzugehen, kann festgehalten werden, daß die Analyse von Innovationen nicht im Rahmen der klassischen Abgrenzung von Disziplinen durchgeführt werden kann.

7 SCHMIDT, P. (Hrsg.): Innovation ..., a.a.O., S.10
8 Vgl. COLEMAN, J.S./KATZ E./MENZEL, H.: Medical Innovation, New York 1966

9 SCHMIDT, P. (Hrsg.): Innovation ..., a.a.O., S.11

Darüber hinaus zeigen nicht zuletzt die Beispiele aus den unterschiedlichen Forschungstraditionen die Bedeutung von Diffusionsprozessen. Dem entspricht es, daß schon seit längerer Zeit versucht wird, formale Modelle zu entwickeln, die diesen interessierenden Diffusionsprozeß nachbilden. In diesem Zusammenhang kann exemplarisch auf die von Mason und Halter¹⁰ vorgestellte Möglichkeit der Anwendung eines Systems simultaner Gleichungen auf ein Modell für die Ausbreitung einer Neuerung oder aber auf das von Karlsson¹¹ entwickelte mathematische Modell der Nachrichtenverbreitung aus dem Jahre 1958 hingewiesen werden.

Angesichts der Tatsache, daß sich formale Modelle in mathematische und Computersimulationsmodelle differenzieren lassen (wie schon im modelltheoretischen Teil dieser Arbeit angesprochen), erscheinen die Bemühungen der jüngsten Zeit, z.B. Computersimulationsmodelle zur Abbildung des Diffusionsprozesses zu entwickeln, nahezu selbstverständlich.

Bevor anschließend in einem nächsten Schritt ein einfaches Simulationsmodell entwickelt wird, das die Grundzüge eines Diffusionsprozesses verdeutlicht, muß im Hinblick auf die Bedeutung von Diffusionsprozessen darauf hingewiesen werden, daß sie nicht nur auf den Bereich der Innovationsforschung zu beschränken sind. Ein weiteres, ebenfalls sehr bedeutendes Forschungsfeld liegt in der Epidemiologie. Aufgrund der Tatsache, daß sich gerade hier eine bemerkenswerte Entwick-

10 Vgl. MASON, R./HALTER, A.N.: Anwendung eines Systems simultaner Gleichungen auf ein Modell für die Ausbreitung einer Neuerung, in: Schmidt, P. (Hrsg.): Innovation ..., a.a.O., S.202-220

11 Vgl. KARLSSON, G.: Ein mathematisches Modell der Nachrichtenverbreitung, in: Renate Mayntz (Hrsg.): Formalisierte Modelle in der Soziologie, a.a.O., S.73-82

lung zeigt, erscheint eine kurze Erläuterung der Bedeutung von Diffusionsprozessen in der Epidemiologie notwendig.

3.3. ZUR BEDEUTUNG VON DIFFUSIONSPROZESSEN IN DER EPIDEMIOLOGIE

Ausgehend davon, das die Epidemiologie eine medizinische Forschungsrichtung darstellt, bei der man sich mit der Entstehung, Verbreitung und Bekämpfung von Krankheiten, insbesondere von ansteckenden Massenerkrankungen, befaßt, liegt die Verwendung von Diffusionsmodellen zur Beschreibung oder Prognose von Krankheitsausbreitungen nahe, was nicht zuletzt durch die Bemühungen der jüngsten Zeit, z.B. Modelle für die Verbreitung von AIDS zu konstruieren, belegt wird.

Aufgrund der Tatsache, daß dieses Thema nicht nur die Öffentlichkeit zunehmend interessiert, sondern auch die Wissenschaftler unterschiedlichster Disziplinen, wurde spezielle PC-Software zur Erfassung dieses Epidemie- oder Diffusionsprozesses entwickelt, die z.B. von einer Münchener Software-Firma unter dem Namen ASSP¹² vertrieben wird.

Nachfolgendes längeres Zitat vermittelt einen Eindruck des Anspruchs und der Möglichkeiten dieser PC-Software:

"Anhand ausgewählter Beispiele wird ein Programm vorgestellt, das für die Simulation der Verbreitung des für AIDS ursächlichen Virus HIV in großen Populationen entwickelt wurde. Das Programm unterstützt eine sehr

12 ASSP bedeutet AIDS-Spread Simulations and Projections, Simulation der HIV-Verbreitung mit Hilfe dynamischer Modelle

allgemein gehaltene Klasse deterministischer dynamischer Modelle, die u.a. folgende epidemiologische Strukturen berücksichtigen: Subpopulationen ('Compartments'), Gruppenbildungen (Zusammenfassungen von Compartments), Partnerschaften ('P-Compartments'), Infektionen durch Blutübertragungen, 'needle sharing', partnerschaftliche und nicht-partnerschaftliche Sexualkontakte. HIV-Träger können u.a. unterschieden werden nach seronegativ, seropositiv, über Infektion informiert/nicht informiert, Vollbild AIDS. Das Programm eignet sich damit für die Untersuchung zahlreicher Fragestellungen (z.B. Auswirkung bestimmter Annahmen, Sensitivitätsanalyse), langfristig aber auch für differenzierte Prognosen über den Epidemieverlauf.

Es war das primäre Ziel, das Programm an epidemiologischen Simulationen interessierten Arbeitsgruppen zur Verfügung zu stellen; diese Zielsetzung stellt besondere Anforderungen an die Bedieneroberfläche eines solchen Programms. Die Festlegung der Modellstrukturen (insbes. Bevölkerungsstrukturen, demographische und medizinische Parameter) erfolgt allein durch den Anwender, der die Modelle im Umfang und Auslegung seinen individuellen Interessen anpassen kann.

Von der Tatsache, daß das Programm von verschiedenen Arbeitsgruppen in unterschiedlichen Ländern eingesetzt wird, versprechen wir uns eine schnelle Validierung des Programms, eine erhöhte Transparenz der verwendeten Modellbeschreibungen und Simulationsverfahren sowie eine bessere Vergleichbarkeit der von den einzelnen Arbeitsgruppen jeweils erzielten Simulationsergebnissen."¹³

Durch das Zitat wird neben der Bedeutung des Diffusionsprozesses in der Epidemiologie zweierlei deutlich, zum einen eröffnet sich für die PC-Computersimulation ein weiteres Anwendungsgebiet, die epidemiologische Simulation.

13 WELCK, U.V./MERZ, H./SCHMID, M./UMKEHRER, A.: AIDS-Spread Simulations and Projections (ASSP), Simulation der HIV-Verbreitung mit Hilfe dynamischer Modelle, Symposiumsvortrag/Arbeitspapier, Nürnberg 1988

Zum anderen ist zu vermuten, wenn sich z.B. diese Simulationssoftware als "marktfähig" (d.h. dieses Angebot hat entsprechende Nachfrage) erweisen sollte, die Verbreitung der PC- Computersimulation durch ein vermehrtes Software-Angebot forciert werden würde und zugleich neue Anstöße erhalten könnte.

Bei dieser Vermutung muß natürlich beachtet werden, was z.B. auch das vorgestellte Software Beispiel zeigt, daß die Zielgruppe solcher Software-Entwicklungen nicht der einzelne PC-Besitzer ist, sondern ein größerer Adressatenkreis.

Die Entwicklungen der Vergangenheit lassen es aber als nicht unrealistisch erscheinen, dennoch auf PC-Computersimulationssoftware (eventuell als Kuppelprodukt?), die auch von einzelnen genutzt werden kann, zu hoffen.

3.4. DIFFUSIONSMODELL

Nachdem sowohl die Begriffsklärung als auch die Bedeutung von Diffusionsprozessen geklärt worden ist, soll anschließend ein sehr einfaches, aber dennoch die Grundzüge aufweisendes Diffusionsmodell entwickelt und in ein lauffähiges BASIC-Programm übertragen werden.

Ziel ist es, das Diffusionsverhalten zweier Populationen zu untersuchen. Dazu wird angenommen, daß sich diese beiden Populationen in zwei separaten, gleichgroßen Regionen (A und B) befinden, die nur durch eine Grenze miteinander verbunden sind. Darüber hinaus wird dieselbe Anzahl (n) von Personen in den getrennten Regionen unterstellt.

Ausgehend von dem von Bernoulli und Laplace entwickelten Diffusionsmodell, soll auch in diesem Modell der Personenaustausch stets paarweise erfolgen: es geht immer eine Person aus der Region A in die Region B und gleichzeitig eine Person aus der Region B in die Region A. Es interessiert nun, welcher Zustand sich im Zeitablauf einstellen wird.

Ausgehend von der Tatsache, daß zu Beginn einer Simulationsperiode in jeder Region vereinbarungsgemäß n -viele Personen leben, genügt es im Hinblick auf die quantitative Lösung, nach jedem Austausch die Anzahl p der in der Region A lebenden Personen, die auch ursprünglich zu dieser Population gehören (Gebürtige), zu kennen. Damit läßt sich die Zahl der Regionfremden (also ursprünglich aus der Region B stammend) durch $n-p$ errechnen.

Zugleich kann mit dieser Vorgehensweise jeder Zeit die Zusammensetzung der Region B bestimmt werden: In der Region B leben $n-p$ Personen aus der Region A und p Personen, die auch schon ursprünglich in der Region B lebten.

Im nächsten Schritt interessiert nun, wieviele in der Region A geborene Personen sind nach dem nächsten Austausch in der Region A noch ansässig. Dazu sind drei Fälle zu unterscheiden:

1. Die Anzahl der Gebürtigen der Region A vermindert sich um eins

Dieser Fall tritt ein, wenn eine in Region A geborene Person in die Region B übersiedelt. Die Wahrscheinlichkeit dafür entspricht p/n und ist genauso groß wie die Wahrscheinlichkeit, daß eine in der Region B gebo-

rene Person nach A wechselt. Da beide Ereignisse unabhängig voneinander sind, tritt das interessierende Ereignis mit einer Wahrscheinlichkeit von $(p/n)^2$ ein.

2. Die Anzahl der Gebürtigen der Region A erhöht sich um eins

Voraussetzung für dieses Ereignis ist, daß eine in der Region A lebende Person, die aber ursprünglich aus der Region B stammt, wieder in die Ursprungsregion zurückgeht und zugleich eine in der Region A geborene Person aus der Region B übersiedelt. Die Wahrscheinlichkeit für beide Fälle beträgt jeweils $(n-p)/p$. Aufgrund der Unabhängigkeit der Ereignisse, tritt das interessierende Ereignis mit einer Wahrscheinlichkeit von $((n-p)/p)^2$ ein.

3. Die Anzahl der Gebürtigen der Region A ändert sich nicht

Hier sind zwei Möglichkeiten vorstellbar. So kann eine in der Region A geborene Person in die Region B wechseln und gleichzeitig siedelt eine ebenfalls in der Region A geborene Person zurück nach A. Dieses Ereignis hat eine Wahrscheinlichkeit von $p(p-n)/n^2$. Oder eine in der Region A lebende, aber aus der Region B stammende Person geht in die Region B und gleichzeitig wechselt eine in der Region B geborene Person in die Region A. Damit ist die Wahrscheinlichkeit für das interessierende Ereignis mit $2p(n-p)/p^2$ bestimmt.

Betrachtet man die oben bestimmten Übergangswahrscheinlichkeiten, fällt auf, daß extreme Verteilungen

abgebaut werden. Wenn beispielsweise p sehr klein gewählt wird, so ist die Chance, daß die Anzahl der in der Region A geborenen Personen konstant bleibt, erst recht aber die Wahrscheinlichkeit dafür, daß sie auch noch abnimmt, viel geringer als die Chance, daß eine weitere in der Region A geborene, aber in die Region B gewechselte Person wieder zurückgeht.

BASIC-Programm:

In einem nächsten Schritt soll nun das Diffusionsverhalten der beiden Populationen in eine BASIC-Programm übertragen werden. Es sollen beliebig viele Perioden, d.h. Austauschschritte simuliert werden, wobei, um zu einem Überblick zu gelangen, was innerhalb des Modells geschieht, jeder hunderste Austauschschritt ausgegeben werden soll. Darüber hinaus gilt es zu beachten, daß bei jedem Austausch die Übergangswahrscheinlichkeiten erneut bestimmt werden müssen.

a) Programmliste

```

5 CLS
10 REM Diffusionsmodell
20 RANDOMIZE TIMER
30 N= 10000: P= 0
40 INPUT "Zahl der Schritte: ",S
50 CLS
60 FOR I=1 TO S
70 P1=(P/N)^2
80 P2=P1+((N-P)/N)^2
90 ZUF=RND
100 REM Durchführung des nächsten Austauschschrittes
110 IF ZUF>P1 THEN 150
120 REM zuf<=p1, also Abnahme
130 P=P-1
140 GOTO 180
150 REM zuf>p1, Gleichstand falls zuf>p2, sonst
    Zunahme
160 IF ZUF<=P2 THEN P=P+1

```

```

170 REM end if
180 REM Ausgeben, falls i durch 100 teilbar ist
190 IF I=100 THEN PRINT"In der Region A beträgt die
    Anzahl der dort geborenen Personen beim";I;".ten
    Austausch: ";P
200 IF I/100=INT(I/100) AND I<>100 THEN PRINT I,P
210 NEXT I
220 END

```

b) Programmvariablen

Die in diesem Programm verwendeten Variablen sind die folgenden:

I = Laufindex der Simulationsperioden oder Austauschschritte
 N = Bevölkerungsanzahl in der Region A und in der Region B
 P = Variable zur Aufnahme der Anzahl der Regionwechsler
 P1 = Wahrscheinlichkeit für den Fall 1 (s.o.)
 P2 = Wahrscheinlichkeit für den Fall 2 (s.o.)
 S = Anzahl der zu durchlaufenden Austauschschritte
 ZUF = Variable zur Aufnahme der mit RND erzeugten Zufallszahl

c) Programmbeschreibung

Satz 5 - 30:

Löschen des Bildschirms, Programmüberschrift, Aufrufen des Zufallszahlengenerator, Vorgabe der Bevölkerungsanzahl in den Regionen sowie Belegung der zur Aufnahme der Anzahl der Regionwechsler eingerichteten Variablen

Satz 40 - 50:

Abfrage der Anzahl der auszuführenden Simulationsperioden sowie Löschen des Bildschirms

Satz 60 - 80:

Beginn der Berechnungsschleife, in der sowohl die erste als auch die zweite Wahrscheinlichkeit bestimmt wird

Satz 90 - 100:

Einrichten einer Variablen, die mit der generierten Zufallszahl belegt wird, Programmhinweis auf den Beginn des nächsten Austausches zwischen den Regionen

Satz 110 - 130:

Vergleich der Zufallszahl mit den errechneten Wahrscheinlichkeiten (Monte-Carlo-Methode: durch die Ziehung der Zufallszahl RND werden die Fälle 1-3 simuliert). Wenn die Wahrscheinlichkeit 1 größer als die generierte Zufallszahl ist, wird zu Satz 150 verzweigt, ist sie kleiner oder gleich der ersten Wahrscheinlichkeit verringert sich die Anzahl der Regionfremden in der Region A um eins

Satz 140:

Sprunganweisung zu Satz 180

Satz 150:

Programmhinweis zur Erläuterung der nachfolgenden Variablenvergleiche

Satz 160:

Vergleich der generierten Zufallszahl mit der zweiten Wahrscheinlichkeit: ist die Zufallszahl kleiner oder

gleich der zweiten Wahrscheinlichkeit, erhöht sich die Anzahl der Regionfremden in der Region a um eins

Satz 170 - 180:

Erläuternde Programmhinweise

Satz 190 -220:

Erreicht der Laufindex I den Wert 100, wird eine Überschrift auf den Bildschirm gegeben, der den Anteil der Regionfremden in der Region A zu diesem Zeitpunkt ausgibt, was in Abständen von jeweils 100 Simulationsperioden ohne Erläuterung wiederholt wird, Ende der Berechnungsschleife und Programmende

d) Programmergebnis:

Läßt man das Programm sehr viele Simulationsperioden, wie z.B. $S = 40000$, durchlaufen, zeigt sich, daß sich die Anzahl der Regionfremden derjenigen der schon seit seit Geburt dieser Region zugehörigen Personen angleicht, d.h. p konvergiert gegen $n/2 = 5000$.

Unabhängig davon, daß dieses Ergebnis durch die Vorgabe der paarweisen Austausches schon bestimmt ist, verdeutlicht dennoch dieses einfache Modell die Charakteristiken eines Diffusionsprozesses und zeigt darüber hinaus, wie dieser Elementarprozeß computergestützt simuliert werden kann.

Diese Modell ließe sich beispielsweise unter Aufgabe bestimmter Voraussetzungen, wie die Annahme des paarweisen Austausches, im Hinblick auf ein Modell für Wanderungsbewegungen der Erwerbsbevölkerung von einer Industrieregion in eine andere ausbauen, wodurch es somit unter sozialwissenschaftlichen Aspekten zur Hypothesengenerierung interessant wäre.

3.5. SIMULATIONSBAUSTEIN AUS DER INNOVATIONSFORSCHUNG AM BEISPIEL DER DIFFUSION VON PRAXISCOMPUTERN BEI NIEDERGELASSENEN KASSENÄRZTEN

3.5.1. BEGRIFFSKLÄRUNG UND SOZIALWISSENSCHAFTLICHE RELEVANZ DES THEMAS

Bevor die sozialwissenschaftliche Relevanz des Themas erläutert werden kann, ist es in einem ersten Schritt notwendig, die Begriffsklärung vorzunehmen.

Unter Praxis-Computer, -rechner oder -EDV versteht man einen Computer bzw. eine DV-Anlage, die ganz oder teilweise die in der Arztpraxis anfallenden Verwaltungsarbeiten einschließlich Dokumentation und KV-Abrechnung¹ übernimmt bzw. unterstützt.

Die Verbreitung und der Einsatz eines Praxiscomputers ist unter mehreren Gesichtspunkten für die Sozialwissenschaft oder ihrem Teilgebiet, die sozialwissenschaftliche Innovationsforschung von Interesse. So wird dieser Einsatz neuer Technologien durch den Arzt im Hinblick auf eventuelle Multiplikatoreffekte auf die gesellschaftliche Akzeptanz neuer Technologien untersucht. Ausgangspunkt für entsprechende Überprüfungen bildet dabei die Tatsache, daß dem Arzt von Seiten der Gesellschaft vielfach eine gewisse Vorbild- und im Hinblick auf andere Selbständige (Rechtsanwälte, Notare, Steuerberater etc.) eine Pionierfunktion zugestanden wird.

¹ KV-Abrechnung: Quartalsmäßige Leistungsabrechnung des niedergelassenen Arztes mit der für ihn zuständigen Kassenärztlichen Vereinigung.

Überdies interessiert der Praxis-EDV-Einsatz auch unter gesundheitsökonomischen Gesichtspunkten.

So gilt es in diesem Zusammenhang, Hypothesen zu untersuchen, ob eine zunehmende Verbreitung dieser Technologien eine Reaktion auf die verstärkte Kontrolle durch die Vertragspartner, die Krankenkassen also, ist.

Desweiteren interessieren in diesem Bereich die Folgen dieses Einsatz: Werden z.B. dadurch, daß durch den EDV-Einsatz die erbrachten Leistungen zu nahezu 100% erfaßt werden, also das Problem der vergessenen Leistungseintragungen weitgehend ausgeschlossen wird, eventuell mehr Kosten dem Vertragspartner gegenüber geltend gemacht etc..

Ohne auf das Interesse anderer sozialwissenschaftlicher Bereiche vertiefend eingehen zu können, wird dennoch deutlich, daß die Verbreitung des Praxis-EDV-Einsatzes sozialwissenschaftlich relevant ist.

3.5.2. ZUM DIFFUSIONSMODELL

"Ideal für die Analyse ist der Fall, daß jeder Besitzer und Nichtbesitzer der sich ausbreitenden Eigenschaft einzeln ausgemacht werden kann. Im strengen Sinne ist das nur auf der Mikroebene möglich."²

In dem hier interessierenden Fall, ein Modell zur Verbreitung von Praxiscomputern bei niedergelassenen Kassenärzten zu entwickeln, ist die Modellebene der Mikrobereich. Gleichzeitig liegt die Eigenschaft, deren

2 HÄGERSTRAND, T.: Eine Monte-Carlo-Analyse der Ausbreitung, in: Schmidt, P. (Hrsg.): Innovation ..., a.a.O., S.221

Diffusion simuliert werden soll, in dichotomer Ausprägung, d.h. Praxis-EDV Ja/Nein, vor.

Im Modell wird eine Region untersucht über die völlig gleichmäßig verteilt Kassenärzte niedergelassen sind³. Überdies herrscht unter diesen praktizierenden Ärzten rege Kommunikation und ausgeprägte Konkurrenz.

Diese Annahmen erscheinen zwar wenig realitätsnah zu sein, genügen aber für einen ersten Untersuchungsansatz. Dies wird bei der Diskussion der Ergebnisse noch vertieft werden.

Das Leben in der Modellregion wird von folgenden Regeln bestimmt:

1. Zu Beginn wird die Anzahl der Praxis-EDV-verwendenden Kassenärzte festgelegt.
2. Die Eigenschaft, d.h. der Praxis-EDV-Einsatz, wird in Abhängigkeit zur Disposition des einzelnen Arztes (d.h. an der Grundeinstellung, die traditionelle Praxisführung beizubehalten) sofort übernommen, wenn man von ihr durch einen Kollegen, der mit einer Praxis-EDV arbeitet, erfährt bzw. beeinflusst wird.
3. Die Entscheidung bzw. die Beeinflussung erfolgt ausschließlich durch die Kommunikation mit Kollegen, die über eine solche Praxis-Anlage verfügen.

³ Anmerkung: Die Existenz von Praxisgemeinschaften und Gemeinschaftspraxen wird unter dem Gesichtspunkt der Überschaubarkeit des Modells vernachlässigt.

4. Die Wahrscheinlichkeit, mit einem solchen Kollegen zu kommunizieren, hängt vom Kommunikationsradius des einzelnen Arztes ab, d.h. davon, wie groß sein Einzugsgebiet für eventuelle Kontakte ausgelegt ist, und zugleich von der geographischen Entfernung zwischen den möglichen Partnern.

Bevor das Programm vorgestellt wird, soll vorab geklärt werden, wie diese Regeln, insbesondere Regel 2 bis Regel 4, im Modell realisiert werden können.

Die erste Regel kann unproblematisch in Form einer Eingabeanforderung an den Benutzer im Modell berücksichtigt werden.

Etwas problematischer gestaltet sich allerdings, die Einbeziehung der zweiten Regel. Im nachfolgenden Programm wurde die hier angesprochene Disposition, d.h. die Bereitschaft an der traditionellen Praxisführung festzuhalten, über die Vorgabe einer Wahrscheinlichkeit nachgebildet.

Regel 3 ist dagegen sehr einfach zu berücksichtigen. Dies geschieht dadurch, daß keine weiteren beeinflussenden Faktoren (wie z.B. die Medien oder aber auch spezielle Informationsdienste der Kassenärztlichen Vereinigungen etc.) in das Modell mitaufgenommen werden.

Wie aus den Regeln 2 und 4 abgeleitet werden kann, ist die Einführung einer Praxis-EDV sowohl von der Disposition des einzelnen Arztes als auch von der Kommunikation, d.h. von dem Zusammentreffen mit einem Kollegen, der über eine solche Anlage verfügt, abhängig. Dieser Tatsache wird im Modell durch den Vergleich zwischen den Wahrscheinlichkeiten, die traditionelle Praxisführung beizubehalten und einen solchen Berufskollegen zu treffen, Rechnung getragen.

Dabei wird ferner unterstellt, daß die Intensität der Beeinflussung oder der Kommunikation von der geographischen Distanz zwischen den Partnern abhängt⁴. Dieser Nachbarschaftseffekt wird dadurch im Modell nachgebildet, daß die Wahrscheinlichkeit für eine Kommunikation oder ein Treffen mit der räumlichen Entfernung zwischen den möglichen Partnern abnimmt.

3.5.3. PROGRAMM

a) Programmliste

```

10 REM Diffusion
20 CLS
30 PRINT"Dieses Programm simuliert einen
   Diffusionsprozeß"
40 PRINT:PRINT:PRINT
50 DIM B$(20,80),P(20,80)
60 FOR I=1 TO 20:FOR J=1 TO 80:B$(I,J)=" ":NEXT J:NEXT
   I
70 INPUT "Kommunikationsradius              (1-
   5, ganzzahlig)";R
80 INPUT "Zahl der Kassenarztpraxen mit einem Praxis-
   Computer              "; F
90 INPUT "Bereitschaft an traditioneller Praxisführung
   festzuhalten";AP
100 RANDOMIZE TIMER
110 GOSUB 290 : REM Starttableau
120 Z=INT(RND(1)*20+1):S=INT(RND(1)*80+1)
130 IF B$(Z,S)="*" THEN 120
140 LOCATE Z,S:PRINT "."
150 AZ=Z-R:EZ=Z+R:AS=S-R:ES=S+R
160 IF AZ<1 THEN AZ=1
170 IF EZ>20 THEN EZ=20

```

4 Damit wird folgendes unterstellt: Je näher die beeinflussende Person desto häufiger findet Kommunikation statt, desto eher erfolgt eine Eigenschaftsübernahme. Vgl. Ausführungen zum Netz der sozialen Kommunikation und zum Nachbarschaftseffekt in: HÄGERSTRAND, T.: Eine Monte-Carlo-Analyse der Ausbreitung, in: Schmidt, P. (Hrsg.): Innovation ..., a.a.O., S.221

```

180 IF AS<1 THEN AS=1
190 IF ES>80 THEN ES=80
200 GOSUB 330
210 FOR I=AZ TO EZ
220 FOR J=AS TO ES
230 IF B$(I,J)="*" AND P(I,J)>AP THEN
    B$(Z,S)="*":M=M+1:PRINT CHR$(7):GOTO 270
240 NEXT J
250 NEXT I
260 GOTO 280
270 LOCATE Z,S:PRINT"*"
280 LOCATE 21,60:PRINT"Anzahl der EDV-
    Praxen:";M+F:GOTO 120
290 REM Up Starttableau
300 CLS:FOR I=1 TO F: Z=INT(RND(1)*20+1):
    S=INT(RND(1)*80+1)
310 LOCATE Z,S:PRINT"*":B$(Z,S)="*":NEXT I
320 RETURN
330 REM UP Wahrscheinlichkeitsbelegung
340 FOR I=AZ TO EZ
350 FOR J=AS TO ES
360 IF I=Z AND J=S THEN P(I,J)=1:GOTO 420
370 IF I=Z AND J<>S THEN P(I,J)=1/ABS(S-J):GOTO 420
380 IF I<>Z AND J=S THEN P(I,J)=1/ABS(Z-I): GOTO 420
390 H1=(1/ABS(Z-I))-.1
400 H2=(1/ABS(S-J))-.1
410 P(I,J)=H1*H2
420 NEXT J:NEXT I
430 RETURN

```

b) Programmvariablen

Die im Programm verwendeten Variablen sind die folgenden:

AS = (Anfangsspalte) Variable zur spaltenweisen Eingrenzung des Kommunikationsradius

AZ = (Anfangszeile) Variable zur zeilenweisen Eingrenzung des Kommunikationsradius

B\$() = Stringvariable zur Aufnahme der Bildschirmpositionen

ES = (Endspalte) Variable zur spaltenweisen Eingrenzung des Kommunikationsradius

EZ	=	(Endzeile) Variable zur zeilenweisen Eingrenzung des Kommunikationsradius
F	=	Anzahl der Kassenärzte mit Praxis-EDV
H1	=	Berechnungshilfsgröße
H2	=	Berechnungshilfsgröße
I	=	Laufindex über 20 Zeilen
J	=	Laufindex über 80 Spalten
M	=	Zähler für die Verbreitung von Praxis-EDV
P()	=	Variable zur Aufnahme der Kommunikationswahrscheinlichkeiten innerhalb des definierten Umfelds bzw. Zielgebietes
R	=	Kommunikationsradius
S	=	Variable zur Aufnahme des Spaltenwertes bzw. der Spaltenkoordinate
Z	=	Variable zur Aufnahme des Zeilenwertes bzw. der Zeilenkoordinate

b) Programmbeschreibung

Satz 10 - 40:

Programmüberschrift, Löschen des Bildschirms sowie Bildschirmausgabe einer Programmüberschrift, Zeilen-vorschub

Satz 50:

Dimensionieren der erforderlichen Arrays

Satz 60:

Abgrenzung der Modellfläche

Satz 70 - 90:

Anforderung an den Benutzer, den Kommunikationsradius, die Anzahl der Kassenärzte mit Praxis-EDV und die

Wahrscheinlichkeit für das Festhalten an der traditionellen Praxisführung einzugeben

Satz 100 - 110:

Aufrufen des Zufallszahlengenerators, Verzweigung zu Satz 290, wo das Starttableau erzeugt wird

Satz 120 - 140:

Zufallsauswahl von Bildschirmpositionen und Kontrolle, ob sie einen "*" aufweisen, d.h. eine Praxis-EDV betreiben, andernfalls erhält diese Zelle ein Punktzeichen (".")

Satz 150 - 200:

Berücksichtigung der Tatsache, daß ein Kommunikationsradius u.U. im Randgebiet der Modellfläche nicht eingerichtet werden kann, Verzweigung zum Unterprogramm "Wahrscheinlichkeitsbelegung"

Satz 210 - 250:

Beginn der Untersuchungsschleife über alle Spalten und Zeilen des realisierten Kommunikationsgebietes auf "*", d.h. Arztpraxen mit EDV, Vergleich der Wahrscheinlichkeiten (s.o.): Ist die Wahrscheinlichkeit einen Kollegen, der einen Praxis-Computer verwendet, zu treffen größer als die eigene Disposition erfolgt die "Eigenschaftsübernahme", die Anzahl der EDV-verwendeten Praxen erhöht sich, was durch einen Ton herausgestellt wird, Verzweigung zu Satz 270

Satz 260:

Verzweigung zu Satz 280

Satz 270:

Positionieren von "*"

Satz 280:

Positionieren einer Ausgabe auf dem Bildschirm über den aktuellen Stand der Verbreitung, Verzweigung zu Satz 120

Satz 290 - 320:

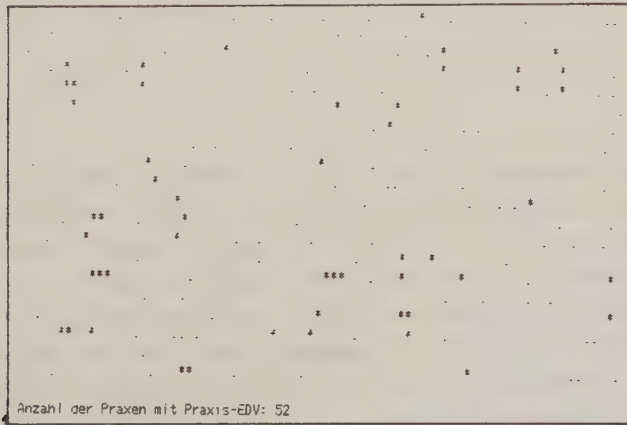
Erzeugung des Starttableaus im Unterproramm, Verzweigung ins Hauptmenü

Satz 330 - 420:

Programmhinweis auf den Beginn des Unterprogramms "Wahrscheinlichkeitsbelegung", in dem allen Zellen im Kommunikationsradius entsprechend ihrer Entfernung zur ausgewählten Person eine Wahrscheinlichkeit für ein Zusammentreffen zugewiesen wird, Verzweigung ins Hauptmenü

d) Programmergebnisse

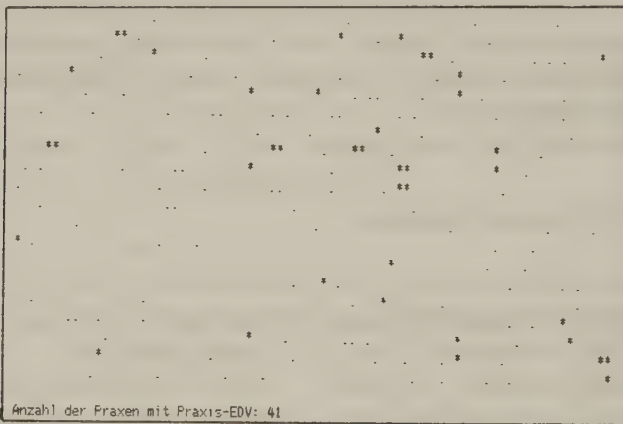
Abb.40: Bildschirmauszug für $R = 4$, $F = 30$, $AP = 0.25$



In Abhängigkeit zur Anzahl der Kassenärzte mit Praxis-EDV und zur Höhe der Bereitschaft, an der traditionellen Praxisführung festzuhalten, verbreitet sich diese Technologie unterschiedlich schnell.

Simuliert man beispielsweise eine ausgeprägte Bereitschaft, mit einer traditionellen Praxisverwaltung auch zukünftig zu arbeiten, realisiert im Modell durch einen hohen Wert von AP, zeigt sich kaum noch ein Diffusionsverhalten.

Abb.41: Bildschirmabzug für $R = 4$, $F = 30$, $AP = 0.85^5$



Vergegenwärtigt man sich in diesem Kontext, daß sich die Verbreitung der Praxis-EDV in der Tat sehr langsam vollzieht (ca. 3% aller praktizierenden Kassenärzte, inklusive aller Gemeinschaftspraxen und Praxisgemeinschaften), kann man zwar nicht behaupten, mit diesem zugegebenermaßen einfachen, aber überschaubaren Simulationsmodell, diese Entwicklung vollständig beschrei-

5 Anm.: Abbildung nach der gleichen Simulationszeit wie in Abb.40.

ben zu können, gleichwohl wird deutlich, welche Bedeutung ein größeres Simulationsmodell, das diesen simulierten Elementarprozeß berücksichtigt, nicht zuletzt im Hinblick auf seine Prognosefunktion aufweisen könnte.

AUSBlick

Wie schon im Rahmen der Beschreibung des gegenwärtigen Forschungsstandes angesprochen, ist eine abschließende Bewertung des Stellenwertes der Simulationsmethode in den Sozialwissenschaften zum jetzigen Zeitpunkt verfrüht.

Dies gilt umso mehr für den bislang relativ "unterentwickelten" Bereich der PC-Computersimulation. Nicht zuletzt deswegen erweist sich der Versuch, einen Ausblick bzgl. der Entwicklungsrichtung oder des Bedeutungsgewinns dieser Methode zu geben, als problematisch, so daß lediglich Hypothesen darüber aufgestellt werden können.

Aus diesem Grund wird in Abweichung von der traditionellen Zielsetzung eines Ausblicks ein andere Vorgehensweise gewählt:

Nachfolgend werden zur Anregung der Diskussion Hypothesen über Möglichkeiten aufgestellt, die eine Etablierung der kybernetischen Methode der Computersimulation und zwar auch im Hinblick auf den PC-Einsatz in den Sozialwissenschaften unterstützen könnten.

So kann vermutet werden, daß eine erfolgreiche Anwendung von Computersimulationen zu ihrer Anerkennung und zu ihrer Etablierung beitragen wird.

Eine Anwendung dieser hypothesengenerierenden Methode setzt aber zugleich voraus, daß zum einen der Kleinrechnereinsatz in den Sozialwissenschaften weiter fortschreitet, um so einem größeren Personenkreis EDV-Kenntnisse zu vermitteln, und zum anderen ein grundsätzliches Interesse daran besteht, den PC über seine

Hilfsfunktionen der Arbeitserleichterung (statistische Berechnungen und Auswertungen, Erstellen von Texten etc.) hinaus zu nutzen.

Dieses Interesse ist notwendigerweise an entsprechende Methoden- bzw. Verfahrenkenntnisse gebunden und zwar auch dann, wenn man auf PC-Basis beispielsweise Simulationssoftware wie MS-Project¹, Programmsysteme wie IPMOS oder MIMOSE oder Simulationssprachen wie DYSIS nutzen will. Denn erst auf der Grundlage methodischer Kenntnisse kann in einem ersten Schritt über einen Einsatz bzw. über die Entwicklung von Computersimulationsmodellen entschieden werden, um danach die entsprechenden Simulationswerkzeuge auszuwählen. Eine vergleichsweise ähnliche Situation existiert in der empirischen Sozialforschung. Auch hier setzt die erfolgreiche Forschung eine methodisch abgesicherte Verfahrensauswahl voraus.

Damit wird deutlich, daß eine vermehrte Anwendung der Simulationsmethode nicht nur durch die Bereitstellung von Computern bzw. PC's erreicht werden kann, sondern darüber hinaus durch die Vermittlung von entsprechendem Grundlagewissen ergänzt werden muß. Diese Tatsache spricht unmittelbar den Bereich der sozialwissenschaftlichen Lehre (Aus- und Fortbildung) an.

Hypothese 1: Die Verbreitung der Simulationsmethode in den Sozialwissenschaften wird durch die wissenschaftliche Lehre gefördert.

In diesem Bereich eröffnet die Simulationsmethode verschiedene Verwendungsmöglichkeiten: Zunächst gilt es, die methodischen Grundlagen der Computersimulation zu

¹ Dabei handelt es sich um ein Standard-Softwarepaket zur Lösung von Projektplanungsproblemen.

vermitteln, so daß die daran anschließende Anwendung sowohl ein Lernen im Modell als auch am Modell in kritischer Reflexion des methodischen Wissens ermöglicht, was insbesondere eine Einschätzung der Möglichkeiten und Grenzen der Simulationsmethode bewirkt.

In diesem Zusammenhang muß darauf hingewiesen werden, daß ein Lernen im und am Modell durch die Anwendung der Simulationsmethode bislang weitgehend unter Einsatz von Planspielen bzw. Mensch-Maschine-Simulationen versucht wurde. Dies ist nicht zuletzt darauf zurückzuführen, daß sich Planspiele als Lehrmethode zur Vermittlung von bestimmten Theorien oder Zusammenhängen durch aktives Lernen auszeichnen.

Angesichts der Tatsache, daß im Rahmen der Ausbildung von Sozialwissenschaftlern in zunehmendem Maße EDV-Kurse in den Lehrplan einbezogen werden bzw. die Vermittlung von EDV-Kenntnissen an Bedeutung gewinnt, bietet sich aber neben einem Einsatz von computergestützten Planspielen auch die Möglichkeit, kleinere Computersimulationsmodelle selbstprogrammiert zu erstellen, was letztendlich zu einer Vertiefung des Methoden- und Modellverständnisses führen könnte. Die im zweiten Teil dieser Arbeit vorgestellten Bausteine simulierter Elementarprozesse könnten hier eine zielführende Verwendung finden.

Es ist zu vermuten, daß durch den Einsatz von Computersimulationsmodellen in der wissenschaftlichen Lehre zweierlei bewirkt werden kann: Zum einen würde eine Verbreitung der Simulationsmethode durch ihren erfolgreichen Einsatz in der Lehre erfolgen, zum anderen würde dadurch zugleich die Bereitschaft von einer derart ausgebildeten Generation von Sozialwissenschaftlern gefördert werden, entweder zu einer Weiterentwicklung der Simulationsmethode in den Sozial-

wissenschaften durch Forschungsarbeiten beizutragen oder im Rahmen ihrer beruflichen und nicht im Forschungsbereich angesiedelten Tätigkeit die Methode als Problemlösungsverfahren in Betracht zu ziehen bzw. anzuwenden, was ebenfalls ihrer Diffusion zuträglich wäre (Multiplikatoreffekt).

Hypothese 2: Die Steigerung der Anwendungsfreundlichkeit ist der Verbreitung der Simulationemethode in den Sozialwissenschaften zuträglich.

Betrachtet man in diesem Zusammenhang die Softwareentwicklung, zeigen sowohl Softwarepakete (z.B. FRAMEWORK II) als auch die Programmiersprachen (z.B. TURBO-BASIC, TURBO-PASCAL oder TURBO-PROLOG etc.), daß zunehmend mit Modulen, d.h. mit Bausteinen gearbeitet wird.

Diese Entwicklung tritt allerdings bei den Programmiersprachen deutlicher als bei den Softwarepaketen hervor.

Die Modul-Technik kann als eine Weiterentwicklung bzw. Verfeinerung der Unterprogramm-Technik bezeichnet werden. Zielführend ist dabei folgender Gedanke:

"Setzt man jedoch ein Programm von vornherein aus einzelnen Bausteinen zusammen, bleibt das Ergebnis überschaubar: Es läßt sich leicht verändern und verbessern, Einzelteile lassen sich wieder voneinander trennen und sind austauschbar."²

Das Resultat dieser Überlegung ist beispielsweise die Entwicklung folgender Möglichkeiten:

2 SCHUMANN: Das große Buch zu TURBO-BASIC, Düsseldorf 1987, S.115

"Stellen Sie sich einmal vor, Sie schreiben ein Programm mit vielen Prozeduren, die Sie zunächst einzeln erstellen und durchtesten. Zum Schluß schreiben Sie ein relativ kurzes Hauptprogramm mit \$INCLUDE-Befehlen, das die gewünschten Quelltextdateien nachlädt und gleichzeitig kompiliert. Vielleicht möchten Sie dann Ihr Programm durch den Einsatz anderer Quelltextmodule variieren, wozu Sie lediglich die betreffenden \$INCLUDE-Befehle ändern müssen. Unter Umständen reicht es auch schon, wenn Sie die verschiedenen Module unter gleichem Namen auf verschiedene Disketten abspeichern, so daß Sie für ein völlig neues Programm nur noch die Diskette wechseln müssen. Auf diese Weise könnten Sie sich leicht eine Turbo-Basic-Bibliothek anlegen, aus der Sie sich bei Bedarf die gewünschten Prozeduren herauskopieren."³

Überträgt man diesen Trend zur Modul-Technik auf die Simulationsmethode, müßten Simulationsmodule und, dem "Bottom-TO-TOP"-Gedanken entsprechend, eine Bibliothek von simulierten Elementarprozessen entwickelt werden, was in der vorliegenden Arbeit mit den vorgestellten Bausteinen zumindest in Ansätzen versucht worden ist. Durch diese Vorgehensweise, d.h. die Übernahme der Modul-Technik im Rahmen der Computersimulation würde die Anwenderfreundlichkeit dadurch gewährleistet werden, daß der Benutzer die Simulationsbausteine aufgrund ihres geringen Umfanges relativ schnell nachvollziehen bzw. verstehen könnte, was ihm zugleich die Möglichkeit böte, komplexere Simulationsmodelle aus diesen Modulen zu konstruieren. Daraus ergibt sich allerdings unmittelbar die Forderung, daß eine solche Bibliothek sehr umfangreich und damit für viele Fälle einsetzbar angelegt werden müßte. Andernfalls ergäbe sich die Ge-

3 HÜCKSTÄDT, J.: Programmieren mit TURBO-BASIC. Eine leicht verständliche Einführung in die Programmier-techniken mit dem Turbo-Basic-Compiler - anhand vieler praktischer Beispiele erklärt, Haar bei München 1988, S.137

fahr, daß solche Probleme nicht in Angriff genommen werden würden, für die noch keine Module vorliegen.

Abschließend ist festzuhalten, daß mit einer methodisch abgesicherten Übernahme und Weiterentwicklung der Computersimulation ein hypothesengenerierendes Verfahren in den Sozialwissenschaften zur Verfügung stehen würde, so daß die Prozesse der Bereitstellung neuer Erkenntnisse gefördert werden könnten.

Die ersten Schritte in diese Richtung sind vollzogen und es gilt, die Entwicklung abzuwarten. Aber schon jetzt kann gesagt werden, daß es sich nicht um eine Renaissance der Computersimulation der 70er Jahre, also um keinen 'neuen', sondern vielmehr um einen im Anspruch anderen Versuch handelt, den Sozialwissenschaften neue Verfahren zu erschließen.

LITERATUR

- Assenmacher, W.: Einführung in die Ökonometrie,
München - Wien - Oldenbourg 1980
- Bacher, J.: Was können wir von Aidsmodellen
Lernen? Die Untersuchung der Sensi-
tivität in "large-scale"-Systemen
und ihren Konsequenzen, Symposiums-
vortrag/Arbeitspapier, Nürnberg 1988
- Barton, R.F.: A Primer on Simulation and Gaming,
Englewood Cliffs - New Jersey 1970
- Baumann, R.: Computereinsatz in Sozialkunde,
Geographie und Ökologie,
Stuttgart 1986
- Bericht einer Arbeitsgruppe am Institut für Soziologie
der TU-Berlin; Vorstudien zur sozialwissenschaftlichen
Computersimulation: Qualifikationsstruktur und Schich-
tung, in: Klages, H. (Hrsg.):
Werkstattpapiere, Zur Analyse und
Planung gesellschaftlicher Verän-
derungen, Meisenheim am Glan 1972
- Bertalanffy, L.v.: General System Theory - A Critical
Review, in: Buckley, W. (Ed.):
Modern Systems Research for the
Behavioral Scientist, Chicago 1972,
S.11-30

- Böhret, C. (Hrsg.): Simulationsmodelle für die öffentliche Verwaltung, Speyerer Forschungsberichte Nr. 52, Speyer 1986
- Böhret, C./
Wordelmann, P.: Das Planspiel als Methode der Fortbildung, Bonn 1975
- Bossel, H.: Systemdynamik. Grundwissen, Methoden und BASIC-Programme zur Simulation dynamischer Systeme, Braunschweig 1987
- Bossel, H.: Umweltdynamik. 30 Programme für kybernetische Umwelterfahrung auf jedem BASIC-Rechner, München 1985
- Box, G.E.P./
Muller, M.E.: A Note on the Generation of Random Number Deviates, in: Annals of Mathematical Statistics, 29 (1958), S.610-611
- Brodbeck, M.: Models, Meaning and Theories, in: Gross, L. (Ed.): Symposium of Sociological Theory, New York - Evanston - London 1969
- Brüning, H./
Trenkler, G.: Nichtparametrische Methoden, Berlin - New York 1978
- Cole, S.: The Global Future Debate 1965-1976, in: Freeman, Ch./Jahoda, M. (Ed.): World Futures, London 1978, S.48

- Coleman, J.S./
Katz E./
Menzel, H.: Medical Innovation, New York 1966
- Conover, W.J.: A Kolmogorov goodness-of-fit-test for discontinuous distributions. Journal of American Statistical Association 67 (1972), S.591-596
- Derschka, P./
Stöber, A.: Organisation & Information. Sozialwissenschaft in der Anwendung - eine empirische Untersuchung, Konstanz 1978
- Dickhoven, S.: Probleme bei der Einführung DV-gestützter Planungssysteme in die politische Planungspraxis. Ergebnisse einer empirischen Untersuchung in der amerikanischen und deutschen Bundesregierung, in: Müller, N./Stachowiak, H. (Hrsg.): Problemlösungsoperator Sozialwissenschaft. Anwendungsorientierte Modelle der Sozial- und Planungswissenschaften in ihrer Wirklichkeitsproblematik, Band II, Stuttgart 1987, S.146-172
- Dörner, D.: Mängel menschlichen Denkens beim Umgang mit komplexen Systemen, in: Halbach, U.: Lernspiele in der Umwelterziehung, Weinheim 1982

- Dworschak, F./
Wagner, G.: Probleme und Möglichkeiten von Verteilungsanalysen mit Hilfe von Mikrosimulationsmodellen, in: Allgemeines Statistisches Archiv, Göttingen 1985
- Ellenberger, H.: Grundlagen der Konstruktion und Auswertung von Simulationsmodellen für die betriebliche Entscheidungs-vorbereitung, Hochschule St. Gallen für Wirtschafts- u. Sozialwissen-schaften, Diss. St. Gallen 1975
- Emshoff, J.R./
Sisson, R.L.: Simulation mit dem Computer, München 1972
- Flache, A./
Schmidt, V.: Programmsystem IPMOS (Interacting Populations: Modelling and Simulation) - Computersimulation beliebiger Weidlich-Haag-Modelle, Symposiumsvortrag/Arbeitspapier, Nürnberg 1988
- Forrester, J.W.: World Dynamics, Cambridge/Mass. 1971
- Frohn, J.: Grundausbildung in Ökonometrie, Berlin - New York 1980
- Geiger, H./
Schneider, J.: Der Umgang mit Computern. Möglich-keiten und Probleme ihres Einsat-zes, München 1975

- Giesen, B./
Schmid, M.: Basale Soziologie: Wissenschafts-
theorie, in: Reimann, H. (Hrsg.):
Studienreihe Gesellschaft, Opladen
1977
- Global 2000: Der Bericht an den Präsidenten,
Frankfurt 1980
- Gross, N.C.: The Diffusion of a Culture Trait in
two Iowa Townships, M.A. Thesis,
Ames, Iowa State University 1942
- Haas, P.: Kritik der Weltmodelle: Philosophi-
sche Aspekte globaler Modellierung-
en. Beiträge des Instituts für
Zukunftsforschung Bd.12, München
1980
- Hammersley, J.M./
Handscomb, D.C.: Monte Carlo Methods, London 1964
- Hanefeld, U.: Das Sozio-ökonomische Panel. Grund-
lagen und Konzepte, Frankfurt am
Main - New York 1987
- Harbordt, St.: Computersimulation in den Sozial-
wissenschaften, 2 Bände, Reinbek
bei Hamburg 1974
- Harbordt, St.: Die Grenzen einer Prognose.
Anmerkungen zur Simulationsstudie
des "Club of Rome", in: Soziale
Welt, 23. Jhg., 1972, Heft 4,
S.410-424

Harbordt, St.:.....Die überschätzte Computersimulation, in: Soziale Welt, 21/22. Jhg., 1971, Heft 4, S.494-507

Hückstädt, J.: Programmieren mit TURBO-BASIC. Eine leicht verständliche Einführung in die Programmiertechniken mit dem Turbo-Basic-Compiler - anhand vieler praktischer Beispiele erklärt, Haar bei München 1988, S.137

Institut der deutschen Wirtschaft (Hrsg.): Zahlen zur Wirtschaftlichen Entwicklung der Bundesrepublik Deutschland 1988, Köln 1987

Institut der deutschen Wirtschaft (Hrsg.): Zahlen zur Wirtschaftlichen Entwicklung der Bundesrepublik Deutschland 1988, Köln 1988

Kaier, E.: BASIC-Wegweiser für IBM Personal Computer und Kompatible, Braunschweig 1986

Karlsson, G.: Ein mathematisches Modell der Nachrichtenverbreitung, in: Mayntz, R.: Formalisierte Modelle in der Soziologie, Neuwied am Rhein - Berlin 1967, S.73-82

Klein, Th.: Zum Nutzen der Mikrosimulation in der Sozialstrukturanalyse, Symposiumsvortrag/Arbeitspapier, Nürnberg 1988

- Köcher, D./
Matt, G./
Oertel, C./
Schneeweis, H.: Einführung in die Simulationstechnik, DGOR-Schrift Nr.5; Frankfurt am Main 1972
- Kreutz, H.: Emotionalität und Sachlichkeit. Ein dynamisches Modell verantwortlichen Handelns in sozialen Interaktionen, Symposiumsvortrag/Arbeitspapier, Nürnberg 1988
- Krüger, S.: Simulation. Grundlagen, Techniken, Anwendungen, Berlin - New York 1975
- Mason, R./
Halter, A.N.: Anwendung eines System simultaner Gleichungen auf ein Modell für die Ausbreitung einer Neuerung, in: Schmidt, P. (Hrsg.): Innovation. Diffusion von Neuerungen im sozialen Bereich, Hamburg 1976, S.202-220
- Mayntz, R. (Hrsg.): Formalisierte Modelle in der Soziologie, Neuwied am Rhein - Berlin 1967
- Meadows, D. u.a. : Die Grenzen des Wachstums. Bericht des Clubs of Rome zur Lage der Menschheit, Stuttgart 1972
- Menges, G.: Ökonometrie, Wiesbaden 1966
- Mertens, P.: Simulation, Stuttgart 1969

- Meschkowski, H.: Mathematisches Begriffswörterbuch, Mannheim 1976
- Mihram, G.A.: Simulation, Statistical Foundations and Methodology, New York 1972
- Mitchell, G.H.: Operations Research: Techniques and Examples, London 1972
- Möhring, M.: MIMOSE - Eine Simulationssprache zur Beschreibung und Simulation individuellen Handelns in interagierenden Populationen, Symposiumsvortrag/Arbeitspapier, Nürnberg 1988
- Myrdal, G.: Ökonomie einer verbesserten Umwelt, in: Nussbaum, H.v. (Hrsg.): Die Zukunft des Wachstums. Kritische Antworten zum «Bericht des Club of Rome», Düsseldorf 1973
- Nowak, J.: Bausteine einer sozialwissenschaftlichen Methodologie der Simulation, in: Klages, H. (Hrsg.): Werkstatt-papiere, Zur Analyse und Planung gesellschaftlicher Veränderungen, Meisenheim am Glan 1973
- Nussbaum, H.v. (Hrsg.): Die Zukunft des Wachstums. Kritische Antworten zum «Bericht des Club of Rome», Düsseldorf 1973

- Petersen, H.-G.: Simulationsergebnisse zur Aufkommensentwicklung und Verteilungswirkung der Einkommensteuer 1965 - 1990, Symposiumsvortrag/Arbeitspapier, Nürnberg 1988
- Picht, G.: Die Bedingungen des Überlebens, in: Nussbaum, H.v. (Hrsg.): Die Zukunft des Wachstums. Kritische Antworten zum «Bericht des Club of Rome», Düsseldorf 1973
- Pulte, P.: Bevölkerungslehre, München 1972
- Rapoport, A.: Mathematische Methoden in der Sozialwissenschaft, Würzburg - Wien 1980
- Rauch, H.: Modelle der Wirklichkeit. Simulation dynamischer Systeme mit dem Mikrocomputer, Hannover 1985
- Ryan, B./
Gross, N.C.: The Diffusion of Hybrid Seed Corn in Two Iowa Communities, Rural Sociology 8, 1943, S.15-24
- Sachs, L.: Angewandte Statistik: Statistische Methoden und ihre Anwendungen; zugleich 5., neubearbeitete und erweiterte Auflage der "Statistischen Auswertungsmethoden", Berlin - Heidelberg - New York 1978

- Schlittgen, R./
Streitberg, B.H.J.: Zeitreihenanalyse, München - Wien
- Oldenbourg 1984
- Schmidt, B.: Informatik und allgemeine Modell-
theorie - Eine Einführung, in:
Angewandte Informatik 1982, Heft 1
- Schmidt, P. (Hrsg.): Innovation. Diffusion von
Neuerungen im sozialen Bereich,
Hamburg 1976
- Schulze, H.H.: Das RORORO Computer Lexikon.
Schwierige Begriffe einfach er-
klärt, Reinbek bei Hamburg 1984
- Schumann: Das große Buch zu TURBO-BASIC,
Düsseldorf 1987, S.115
- Siegel, S.: Nichtparametrische statistische
Methoden, Frankfurt am Main 1976
- Tiede, M./
Voß, W.: Induktive Statistik Teil 1, Köln
1977
- Tiede, M./
Voß, W.: Induktive Statistik Teil 2, Köln
1977
- Tiede, M.: Statistik. Regressions- und Korre-
lationsanalyse, München - Olden-
bourg 1987

- Tiede, M.: Konsequenzen der Forderung nach Chancengleichheit im Erwerbsleben für die personelle Einkommensverteilung sowie einige Folgerungen für den Einkommenssteuertarif, in: Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik B. 185, Heft 1, 1971
- Troitzsch, K.G./
Möhring, M.: Simulationsverfahren in den Sozialwissenschaften, in: Faulbaum, F./Uehlinger, H.-M. (Hrsg.): Fortschritte der Statistik-Software 1, Stuttgart - New York 1988
- Troitzsch, K.G.: Methodische Probleme der sozialwissenschaftlichen Computersimulation, Symposiumsvortrag/Arbeitspapier, Nürnberg 1988
- Ullrich, O.: Technologiefolgen-Abschätzung Computersimulation - politisch irrelevant? Oder: "Ganzheit" - eine fehlende Dimension der Policy-Forschung, in: Böhret, C. (Hrsg.): Simulationsmodelle für die öffentliche Verwaltung, Speyerer Forschungsberichte Nr. 52, Speyer 1986
- Voß, W./
Wutschel, B.: Kybernetik, in: Wörterbuch der Soziologie, noch unveröffentlicht

- Voß, W.: Bausteine der Statistik. Rezept für Nichtstatistiker, Köln 1979
- Voß, W.: Die Bundesrepublik Deutschland, Stuttgart - Berlin - Köln - Mainz 1981
- Voß, W.: EDV und BASIC - Mikrocomputer-Grundwissen, Vorlesungsskript, Bochum 1984
- Wagner, G.: Mikrosimulation - ein neues Instrument für Sozialökonomische Analysen, in: Angewandte Informatik 1982, Heft 10
- Wagner, G.: Analysepotentiale und -grenzen der gegenwärtigen amtlichen und nicht-amtlichen Datenproduktion für einen 'Problemlösungsoperator Sozialwissenschaft', in: Müller, N./ Stachowiak, H. (Hrsg.): Problemlösungsoperator Sozialwissenschaft. Anwendungsorientierte Modelle der Sozial- und Planungswissenschaften in ihrer Wirklichkeitsproblematik, Band II, Stuttgart 1987, S.41-125
- Weber, R.: Erzeugen von Zufallszahlen auf einem Rechenautomaten, in: Institut für Datenverarbeitung Dresden (Hrsg.): Simulationsmodelle für ökonomisch-organisatorische Probleme, Berlin 1968

Welck, U.v. u.a.: AIDS-Spread Simulations and Projections (ASSP), Simulation der HIV-Verbreitung mit Hilfe dynamischer Modelle, Symposiumsvortrag/Arbeitspapier, Nürnberg 1988

Werneck, T./
Grasse, R.: Planspiele, München 1976

Zwicker, E.: Simulation und Analyse dynamischer Systeme in den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, Berlin - New York 1981

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN UND TABELLEN:

ABBILDUNGEN:	SEITE
Abb.1 : Geschlossenes System.....	9
Abb.2 : Offenes System.....	9
Abb.3 : Kybernetischer Regelkreis.....	11
Abb.4 : Ablaufschema einer Simulation, dargestellt in der Form eines einfachen Regelkreises.....	50
Abb.5 : Konkurrenzfreies Planspiel.....	54
Abb.6 : Planspiel unter Konkurrenzbedingungen.....	55
Abb.7 : Basismodell der Computersimulation.....	63
Abb.8 : "Modellierung und Simulation bei Zeigler (1976)".....	65
Abb.9 : Theoriebildung, Modellierung und Simulation.....	67
Abb.10: Arbeitsschritte eines Computersimulations- projektes.....	68/69
Abb.11: Umwandlung von gleichverteilten Zufallszahlen in beliebig verteilte Zufallsvariablen.....	123
Abb.12: Programmsergebnisse bei Wahlmöglichkeit (1) RND.....	152
Abb.13: RND-generierte Zufallszahlen.....	153

Abb.14: Häufigkeitstabelle und Prüfgröße des Chi-Quadrat-Anpassungstests.....	153
Abb.15: Vorbereitung des Sequenzanalyse.....	154
Abb.16: Zwischenergebnisse und Prüfgröße der Sequenzanalyse.....	154
Abb.17: Programmergebnisse bei Wahlmöglichkeit (2) Lehmer-Generator.....	155
Abb.18: Die nach dem Lehmer-Algorithmus generierten Zufallszahlen.....	155
Abb.19: Häufigkeitstabelle und Prüfgröße des Chi-Quadrat-Anpassungstest.....	156
Abb.20: Vorbereitung der Sequenzanalyse.....	156
Abb.21: Zwischenergebnisse und Prüfgröße der Sequenzanalyse.....	157
Abb.22: Histogramm der Einkommensverteilung in der Bundesrepublik Deutschland 1985.....	161
Abb.23: Lorenzkurve der Einkommensverteilung in der Bundesrepublik Deutschland 1985.....	162
Abb.24: Graphik für $N = 25$, $P = 0.5$	174
Abb.25: Häufigkeitstabelle für $N = 25$, $P = 0.5$	174
Abb.26: Graphik für $N = 25$, $P = 0.8$	175
Abb.27: Häufigkeitstabelle für $N = 25$, $P = 0.8$	175

Abb.28: Häufigkeitstabelle für $N = 200$, $P = 0.8$	176
Abb.29: Häufigkeitstabelle für $N = 70$, $P_1 = 0.45$, $P_2 = 0.4$, $P_3 = 0.15$	183
Abb.30: Stabdiagramm für $N = 70$, $P_1 = 0.45$, $P_2 = 0.4$, $P_3 = 0.15$	184
Abb.31: Häufigkeitstabelle für $N = 70$, $P_1 = 0.331$, $P_2 = 0.539$, $P_3 = 0.13$	185
Abb.32: Stabdiagramm für $N = 70$, $P_1 = 0.331$, $P_2 = 0.539$, $P_3 = 0.13$	185
Abb.33: Lineares Wachstum.....	193
Abb.34: Exponentielles Wachstum.....	198
Abb.35: Explosives Wachstum.....	207
Abb.36: Logistisches Wachstum.....	212
Abb.37: Anfang der Häufigkeitstabelle.....	238
Abb.38: Ende der Häufigkeitstabelle.....	238
Abb.39: Graphik der Bevölkerungsentwicklung.....	239
Abb.40: Diffusionsmodell für $R = 4$, $F = 30$, $AP = 0.25$	263
Abb.41: Diffusionsmodell für $R = 4$, $F = 30$, $AP = 0.85$	264

TABELLEN:

SEITE

Tab.1: Einkommensverteilung: Anteil der Erwerbstätigen Prozent.....	160
Tab.2: Weltbevölkerungsentwicklung.....	201
Tab.3: Bevölkerungsentwicklung in der Bundes- republik Deutschland von 1971-1986.....	225

Lebenslauf

Name : Wutschel
Vorname : Brigitte
Geburtsdatum : 22. Juni 1961
Geburtsort : Witten / NRW
Familienstand : ledig

Ausbildung

1967 - 1968 Dorfschule Witten-Heven
1968 - 1971 Dorfschule Wetter-Wengern
1971 - 1980 Albert-Martmöller-Gymnasium Witten
12. Mai 1980 Abitur
SS 1981 Studienbeginn im Fach Sozialwissenschaft
an der Ruhr-Universität Bochum
29. März 1983 Vordiplom
16. Oktober 1986 Diplom
Seit 4. November 1986 Wissenschaftliche Hilfskraft an der
Fakultät für Sozialwissenschaft; Sektion
Sozialwissenschaftliche Methodenlehre und
Statistik der Ruhr-Universität Bochum

